A. MIGDAL

DE LA ÎNDOIALĂ LA CERTITUDINE

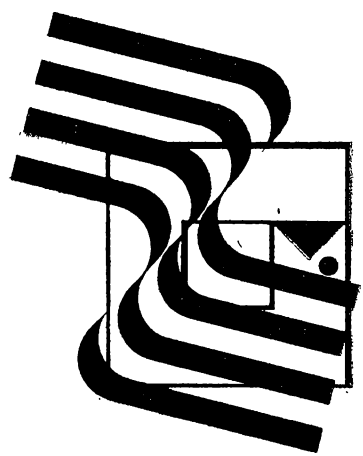
A. MIGDAL

DE LA ÎNDOIALĂ LA CERTITUDINE

A. MIGDAL

DE LA ÎNDOIALĂ LA CERTITUDINE

Prefaţă şi traducere din limba rusă :
GHEORGHE STRATAN



EDITURA POLITICĂ 1989
Bucureşti

Redactor: MARIA ALEXE

Coperta: IOAN MIHĂESCU

ISBN 973—28—0000—3

A. MIGDAL

„POISKI ISTINÎ"

Molodaia Gvardia, Moskva — 1983

Prefață

În timpul călătoriei în Purgatoriu, Dante se adresează astfel călăuzei sale, Virgiliu:

„Căci ai făcut ca cei ce duc făclie
și dibuind în noapte pe cărare,
le-arată calea celor ce-au să vie".

Tradiția medievală îi atribuie lui Virgiliu o profeție de care acesta era, de fapt, străin[1], dar și rolul de luminător al drumului *altora*. Rolul pe care și-l asumă în această carte fizicianul sovietic Arkadii Benediktovici Migdal, de călăuză pe drumul de la îndoială la certitudine în știință, este opus ca substanță exemplului dantesc. Călăuza noastră cunoaște bine itinerarul de-a lungul căruia încearcă să ne facă părtași la confruntarea dintre eroare și adevăr, dintre știință și pseudoștiință, împărtășindu-ne din experiența și căutările proprii din domeniul fizicii nucleare, ca și din creația sa artistică. Autorul cărții de față, membru al Academiei de Științe a U.R.S.S., este fondatorul unei direcții de cercetare recunoscute de teoreticieni și profesorul mai multor generații de fizicieni ajunși la rîndul lor academicieni și profesori. Traduse în mai multe limbi, cărțile sale de specialitate servesc drept lucrări de referință. Dintre acestea, monografiile *Nuclear Theory: The Quasiparticle Method*, New York, Benjamin, 1968 și *The Theory of Finite Fermi Systems*, New York, Interscience, 1967, sînt bine cunoscute în mai toate la-

[1] Dante, *Purgatoriul*, traducere de Eta Boeriu, comentarii de Alexandru Balaci, BPT, 1982; este vorba despre pretinsa prevestire de către Virgiliu a creștinismului.

boratoarele de fizică nucleară, fiind consacrate unuia dintre subiectele cele mai dificile ale fizicii moderne: teoria mai multor corpuri, aplicabilă unor probleme complicate, cum ar fi structura corpului solid, structura nucleului atomic sau a materiei din care sînt alcătuite stelele.

Fizicienii români au avut prilejul să-l cunoască pe autor la cursurile internaționale de fizică organizate anual la Poiana Brașov, unde lecțiile pe care le-a ținut și comentariile făcute pe marginea lucrărilor au stîrnit interes. Secretul tinereții sale — în cel de-al optulea deceniu de viață — îl constituie, probabil, îmbinarea profesiei de om de știință cu pasiunea pentru sculptura în lemn și piatră și cu activitatea sportivă.

Îl caracterizează impetuozitatea stilului și, deseori, spiritul polemic. Aceste trăsături sînt prezente și în activitatea științifică a reputatului savant, lucrările sale conținînd ipoteze și idei îndrăznețe, menite să atragă atenția asupra problemelor nodale, stimulînd cercetările experimentale și determinînd astfel direcții de concentrare a efortului științific creator. A. Migdal distinge între știința „cuminte" care „merge la sigur" și cercetarea ce presupune un factor de risc asumat în mod conștient, riscul de a greși.

Dacă, așa după cum spune proverbul, eroarea este omenească, este ea și inevitabilă? Perspectiva istorică ne ajută să înțelegem mai ușor dinamica trecerii de la eroare la adevăr într-un domeniu sau altul al științei. Ce este, de exemplu, electricitatea? „Un fluid unic, imponderabil, acționînd prin repulsie asupra moleculelor proprii și prin atracție asupra celor ale materiei", cum susținea Benjamin Franklin, sau „... două feluri de fluide electrice — fluidul sticlos și fluidul rășinos — care, în cantitate egală, dau fluidul neutru", cum susținea Robert Symmer[2]?

Cititorul de astăzi, cunoscător al teoriei electronice a electricității, decelează cu ușurință adevărurile și erorile din ambele definiții, dintre care s-a impus, cu aproape două secole în urmă, aceea a lui Franklin, structurînd în jurul ei, pentru un timp îndelungat, prima teorie închegată a fenomenelor electrice.

---

[2] După *A. Ganot*, Traité élémentaire de Physique expérimentale et appliquée, ed. a XIV-a, Paris, 1870, p. 616.

Mult mai complicată — însă cu atît mai necesară — apare cerința decelării adevărului în condițiile dezvoltării actuale a științei. A. Migdal susține în mod evident că erorile sînt inevitabile, întrucît, dintr-o mulțime de idei și de soluții, foarte puține se dovedesc în cele din urmă corecte. Cele mai multe erori se corectează însă din mers, ipotezele greșite sînt înlăturate și căutările continuă. Autorul cărții de față descrie sitele de cernere a ipotezelor, prin care se testează corectitudinea și viabilitatea acestora. Deși este vorba despre știință, nu lipsesc nici criteriile estetice de apreciere a lucrărilor, frumosul jucînd un rol important și în aceste creații ale intelectului uman.

Fiecare știință își are noțiunile sale, metodele sale specifice („arsenalul" său), rodul evoluției și al acumulărilor istorice; toate științele au însă în comun ceea ce se numește *metoda științifică de abordare a cercetării*, căreia îi este dedicată o însemnată parte a cărții lui A. Migdal. Deși concepția despre metodă se schimbă o dată cu știința însăși, se conturează o serie de principii cu caracter permanent, proprii oricărei metode științifice. Toate științele se bazează pe o serie de fapte, „evidențe" (sau date experimentale) pe care trebuie să le explice și cu care se confruntă diversele teorii. Datele experimentale se află într-o serie de relații, care sînt interpretate în cadrul anumitor modele, ca un prim pas către elaborarea de teorii cuprinzătoare. Nu toate faptele sînt la fel de relevante pentru o teorie sau alta, unele fapte au trebuit chiar să fie neglijate în anumite etape ale dezvoltării științei; niciodată însă nu se „întrece măsura", nu se ignoră ansamblul general al datelor. Confuzia apare atunci cînd se încalcă ierarhia date-relații-modele[3], acest fapt constituind o gravă abatere de la metoda științifică.

Amestecul noțiunilor provenite din cele trei trepte diferite ale ierarhiei de mai sus are ca rezultat transformarea adevărului în minciună și a științei — în pseudoștiință. Erorile sînt sesizate uneori mai tîrziu, cînd, pornind de la ele, s-a ridicat un adevărat eșafodaj ale cărui concluzii sînt confruntate cu realitatea. Descoperirea erorilor înseamnă în

---

[3] Pentru o expunere mai amănunțită a metodei științifice vezi: Thomas S. Kuhn, *Structura revoluțiilor științifice*, Editura Științifică și Enciclopedică, 1976, secțiunea a II-a.

acest caz prăbușirea întregului edificiu în care s-au investit multă muncă, mijloace materiale și nu rareori speranțe. Ca și în cazul unei construcții șubrede, se impune refacerea din temelie, lucru nelipsit de dificultăți Dar nici comunitatea oamenilor de știință, nici societatea nu acceptă totdeauna cu ușurință să-și asume eșecul, deși o cercetare încheiată cu o concluzie negativă, de tipul „în condițiile date, fenomenul căutat nu se produce" are valoarea ei gnoseologică. Concurența, rivalitatea dintre grupuri, goana după descoperiri științifice, dorința fierbinte de a demonstra sau de a infirma o teză, o idee, conțin în germen falsificarea faptelor și pot genera concluzii pripite. Autorul remarcă pe bună dreptate faptul că descoperirea științifică constituie rezultatul secundar al unei cercetări susținute, animată numai de pasiunea pentru adevăr, de curiozitatea științifică nepartizană și care are drept scop să afle cum este constituită natura.

Nu orice eroare se confundă însă cu pseudoștiința. P. L. Kapița, laureat al premiului Nobel pentru fizică, afirmă că „pseudoștiința constă de fapt în nerecunoașterea greșelilor"[4]. Persistența în eroare și ignorarea realității, construirea premeditată a unui sistem de false dovezi și încercarea de a le impune cu argumente din afara științei, mizînd pe lipsa de cunoștințe a publicului în acel domeniu și înșelînd astfel buna-credință a societății, iată, am adăuga noi, etapele, mai mult sau mai puțin obligatorii, ale drumului de la eroare la pseudoștiință.

Este instructiv de urmărit un exemplu în acest sens: istoria așa-numitei „ape vii", care a debutat cu circa trei decenii în urmă, ca o cercetare consacrată unei presupuse structuri polimerice a apei, ipoteză greșită din start, din cauza unor mici impurități prezente în probele de apă. Primele lucrări, datorate lui B.V. Dereaghin, au avut un ecou foarte larg. J.D. Bernal, laureat al premiului Nobel pentru chimie, susținea că evidențierea structurii polimerice a apei reprezintă descoperirea secolului al XX-lea. Și alte laboratoare au preluat cercetările, dar rezultatele au iscat controverse. O parte din studii au fost chiar trecute la secret, pe motive de posibile implicații strategice. În 1973, Dereaghin și-a recunoscut greșeala[5], relatată și într-o revistă de mare circulație,

---

[4] P.L. Kapița, *Experiment, teorie, practică*, Editura Politică, 1981, p. 42.

[5] B.V. Deryagin, N.V. Churaev, *Nature of Anomalous Water*, *Nature*, 17 august 1973.

sub titlul „Istoria unui artefact"[6]. Mai tîrziu a apărut și o carte, cu un titlu ironic[7], recenzată sugestiv în articolul „Cum să nu împroști în știință"[8]. Dacă în știința internațională carierea „apei anomale" se încheia în acest fel, nu se întîmpla același lucru peste tot; parcă în pofida dezvăluirilor[5-8] revista *„Știință și tehnică"* nr. 8/1981 publica un interviu consacrat așa-zisei descoperiri a trei componente ale apei, denumite respectiv „apă biologică, antagonică și neutrală" și brevetarea procedeului de „separare a unor structuri polimoleculare de apă biologic activă". Aceasta din urmă, dacă ar fi fost să dăm crezare autorilor, ar fi avut proprietăți fizice uimitoare („pulsînd în volum ca o inimă", fierbînd la peste 100° C, etc.), vindecînd răni și unele boli, printre care și cancerul. „Structura biologică" a apei ar fi prefigurat viața, polimerul apei avînd chipurile o formă de spirală. (Spirala, ca și alte idei „noi" pot fi găsite încă în articolul citat din *La Recherche.*)

Identificăm în această istorie, pas cu pas, toate simptomele trecerii de la eroare la pseudoștiință descrise de A. Migdal, dintre care cel mai frapant este încercarea de a rezolva dintr-o lovitură aproape toate marile probleme, de la originea vieții și pînă la vindecarea flagelurilor. Ne putem însă consola, o dată cu autorul cărții de față: pseudoștiințele, mai ales în epoca actuală, au viață scurtă. Într-adevăr, cine mai vorbește astăzi de „apa vie"? Ieșită, ca denumire, din folclor, ea a intrat în folclorul științei, trecînd, după o anumită vîlvă (și după speranțe repede dezamăgite în rîndurile celor suferinzi), într-o meritată uitare. Este interesant de remarcat că, în aceeași perioadă, în laboratoarele ICEFIZ se desfășurau cercetări teoretice și experimentale sistematice consacrate stării lichide (inclusiv a apei) cu rezultate validate prin publicarea lor în presa științifică națională și internațională și prin rezistența la proba timpului.

Cea mai importantă concluzie care se poate trage din istoriile de felul „apei vii", cazuri de regulă izolate și puține la număr, este necesitatea atitudinii prudente și chiar sceptice, atît din partea oamenilor de știință, cît și a publicului larg, întrucît, „...acceptarea fără critică a unei teorii nu favorizează progresul cunoașterii și este un pericol pentru știință"[9].

---

[6] *La Recherche, 44* (1974).

[7] Felix Francks, *Polywater*, M.I.T. Press, 1981.

[8] Robert Ubell, *How not to make a splash in science, Nature*, 5 noiembrie 1981.

[9] Mircea Flonta, *Studiu introductiv* la cartea lui Thomas S. Kuhn, op. cit., p. 30.

În acest sens pledează nu numai A.Migdal, ci și mulți alți autori[10]. A. Migdal își avertizează însă cititorii să nu absolutizeze atitudinea critică, deoarece exacerbarea ei în faza inițială a actului creator poate inhiba apariția ideilor originale, neașteptate, care sînt deseori purtătoarele germenului soluției problemelor dificile. Tineretul, îndeosebi, este îndemnat să se vindece de teama de a nu greși. În situații mai grele, autorul indică drept procedeu de lucru „dezlănțuirea fanteziei", actul de analiză critică, obligatoriu în știință, ca de altfel în toate domeniile de activitate, trebuind amînat pînă la o fază mai elaborată a ipotezelor.

Una dintre ideile generoase ale cărții academicianului sovietic este necesitatea răspîndirii cunoștințelor despre metodele de lucru ale oamenilor de știință, concomitent cu popularizarea științei propriu-zise. Prima parte a cărții ilustrează tocmai metoda științifică de cunoaștere, descriind lungul și complicatul drum de la îndoială la certitudine, în timp ce partea a doua a cărții prezintă la un nivel accesibil publicului larg cîteva dintre rezultatele științifice obținute de autor pe parcursul mai multor decenii de activitate.

În concepția autorului, popularizarea trebuie să-l determine pe cititor să intre în rolul omului de știință, să-i refacă raționamentele, să-i urmărească toate căutările, fructuoase sau sterile, obținînd astfel o viziune dinăuntrul procesului creator, o imagine de participant și nu de spectator. Prin această prismă, lectura celor două părți ale cărții alcătuiește un tot unitar.

Cititorul va fi fără îndoială interesat să descopere conexiunea neașteptată dintre proprietățile vidului, ale nucleului atomic și ale stelelor, aceste entități fizice, extrem de diferite în aparență, fiind guvernate de aceleași legi. Studiul vidului, întreprins pentru prima dată de mecanica cuantică, a relevat o entitate foarte complexă, depărtată nu numai de imaginea „absenței materiei", din gravurile cu emisferele de Magdeburg de prin manualele vechi, ci chiar de eterul sfîrșitului de secol al XIX-lea. Vidul este sediul unor fenomene care stau la baza întregii fizici a interacțiunilor fundamentale din natură; înțelegerea, fie și parțială, a acestei noțiuni a împins înainte cunoașterea Universului, de la particulele elementare și pînă la stele.

---

[10] Vezi, de exemplu, Carl Sagan, *Broca's Brain. Reflections on the Romance of Science*, Random House, New York.

Evoluția materiei din Univers trece și prin stadiul „prelucrării" sale în stele, adevărate „furnale" în care, din materia primordială (hidrogen și heliu) se elaborează șarje de elemente inexistente anterior. Elementele astfel fabricate sînt răspîndite prin explozii în spațiul interstelar, făcînd posibilă apariția unor compuși și inițiind procese care, în cele din urmă, duc la apariția vieții. Explicarea evoluției stelare, inclusiv a exploziilor care marchează unele etape din soarta acestor aștri, capătă așadar o importanță deosebită pentru înțelegerea lumii înconjurătoare. Autorul propune o teorie a acestei evoluții, bazată pe așa-numita „restructurare a vidului" fenomen descris aici în diverse situații (la diferite energii, în prezența unor cîmpuri externe etc.). Cititorul pătrunde astfel într-unul dintre cele mai interesante capitole de astrofizică, impus încă o dată atenției publicului la începutul anului 1987 de observarea optică directă a exploziei unei supernove (denumită cu speranță 1987A), eveniment analizat cu înfrigurare; datele culese pot oferi posibilitatea verificării teoriilor privind supernovele, inclusiv a teoriei lui Migdal. Întîmplarea face ca explozia lui 1987A să fi fost înregistrată și de cîteva instalații experimentale destinate complet altui scop și anume detectării neutrinilor proveniți din ciclul de reacții nucleare din Soare, fapt care lărgește baza datelor cu care sînt confruntate teoriile. Ca o lovitură de teatru, atunci cînd cerul se calmase și cînd totul părea cunoscut, fotografiile zonei au arătat existența a două centre de la care s-ar fi putut propaga explozia, constatare fără explicație în lumina teoriilor actuale[11]. Hotărît lucru, realitatea lumii în care trăim desfide orice poate să-și închipuie mintea omenească!

La acestea toate, ne putem consola pe noi înșine, ca și pe teoreticienii care înfruntă dificultățile, cu cuvintele lui Goethe: „Prietene, teoria-i cenușie, numai pomul vieții este veșnic verde", sau, cu aforismul unui confrate rus al marelui poet german, nu atît de celebru, dar nu mai puțin ironic, Kozma Prutkov, citat și de A. Migdal: „Nu poți cuprinde necuprinsul". Și totuși, merită încercat.

Acest îndemn explicit la îndrăzneala științifică este adresat de autor cititorilor indiferent de vîrsta și de profesia lor, fapt lesne de înțeles deoarece știința joacă astăzi un rol formativ în viața tuturor, alcătuind — nu *alături* de umanism, ci *împreună* cu umanismul — profilul cultural al omului contemporan.

---

[11] *Scientific American*, iulie 1987.

Aflată în fața cerințelor dezvoltării sale multilaterale, țara noastră este interesată să promoveze în mod rapid domeniile științifice de cea mai mare perspectivă, să integreze cît mai deplin cunoașterea științifică în contextul social-economic și cultural, imperative care se pot realiza — așa cum subliniază constant documentele de partid și de stat — numai prin cultivarea originalității și curajului în gîndire, prin educarea tineretului în spiritul concepției materialist-științifice despre lume.

Gheorghe Stratan

...adevărul este mai poetic decît orice pe lume, mai ales în starea lui pură; este chiar mai fantastic decît orice ar putea să născocească sau să-şi închipuie mintea omenească

F. Dostoievski

Dacă te decizi să mergi pînă la capăt pe drumul chinuitor al îndoielilor, al verificărilor nenumărate, al greşelilor urmate de clarificări neaşteptate, în cele din urmă, pe înălţimea cucerită, apare ca o răsplată adevărul, de o sută de ori mai frumos decît cea mai frumoasă intuiţie.

Acest drum se numeşte metoda ştiinţifică de cunoaştere. Pentru a nu te abate de la el, nu ajunge să-ţi alegi direcţia corectă, să stăpîneşti secretele meseriei şi să mînuieşti instrumentele cunoaşterii, elaborate şi perfecţionate prin eforturile multor generaţii, ci mai trebuie să îţi cultivi ca trăsături de caracter răbdarea, conştiinciozitatea şi capacitatea de a te uimi. Mai trebuie să ştii cînd să te conformezi sau nu intuiţiei, cînd să ai încredere în rezultatul propriu, dar, concomitent, să cauţi şi dovezile contrare acestuia; trebuie să posezi capacitatea de a da frîu liber, dar şi de a frîna fantezia, de a recunoaşte şi a îndrepta greşeala... Este important să înveţi să preţuieşti frumuseţea naturii şi frumuseţea construcţiilor logice.

Vreau să priviţi drumul spre adevăr nu dinafară, ci dinăuntru, mergînd în pas cu ghidul. S-ar putea să nu vă duc întodeauna pe calea cea mai simplă, dar aceasta nu înseamnă că îi iau în călătorie numai pe cei aleşi. Îi invit să meargă cu mine pe toţi cei care sînt dispuşi să facă un efort. „Farmecul ştiinţei poate învinge aversiunea faţă de efortul intelectual", spunea matematicianul francez Gaspard Monge.

Să nu vă impacientaţi dacă nu înţelegeţi totul, întrucît noţiunea de „înţelegere" are toate nuanţele, de la claritatea la care nici autorul nu ajunge întotdeauna, pînă la percepera vagă. Dar pînă şi aceasta din urmă, treptat, pe căi necu-

noscute, duce la o înțelegere mai profundă. La o primă citire, nu ezitați să treceți peste argumentele mai complicate. Dacă nu sînteți familiarizați cu matematica, puteți omite din lectură cele cîteva formule simple la care am recurs spre ilustrarea unor exemple. Procedînd astfel, veți pierde mult, dar nu esențialul.

Totuși, oricît ai simplifica expunerea, lucrurile complicate rămîn complicate. Frumusețea științei nu se poate pune în evidență prin exemple simple. Se povestește că Aristotel i-ar fi spus învățăcelului său, Alexandru Macedon, că „în matematică nu există drum presărat cu flori!" M-am străduit să elimin dificultățile neesențiale, dar cele rămase reflectă fondul problemelor — doar nu-i așa, avem de urmărit împreună modul în care au apărut și s-au dezvoltat cele mai complicate edificii ale fizicii contemporane — teoria relativității, teoria cuantică și fizica particulelor elementare.

Veți putea aprecia gradul de dificultate al expunerii, privind la desenul de la începutul fiecărei secțiuni.

Iată aceste desene.

Acum mă adresez cititorilor avizați.

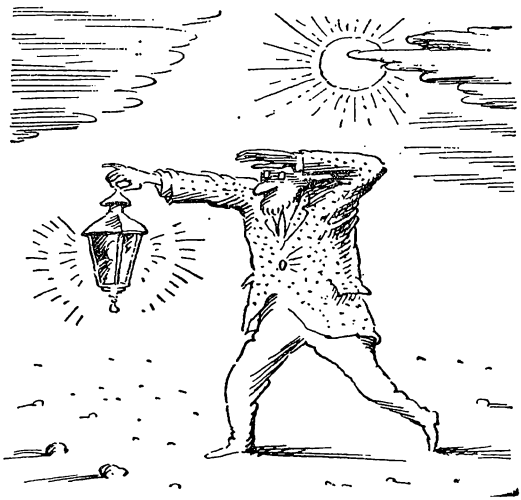
În această carte multe pasaje ar fi fost mai firești și mai exacte dacă m-aș fi folosit de numerele complexe. Nu mi-a fost la îndemînă să scriu „pătratul funcției de undă" în loc de „modulul pătrat al funcției de undă"... Am vorbit despre proprietățile ecuațiilor lui Maxwell, Schrödinger, Young-Mills, fără să le scriu măcar o dată. M-am limitat la calculele

cele mai simple, tocmai ca să nu-i descurajez pe cititorii nefamiliarizați cu fizica și matematica.

A trebuit să abordez și domenii ce nu au contingență cu profesia mea. La unele obiecții, voi spune și eu ca Niels Bohr: „Raționamentul meu nu trebuie interpretat ca afirmație, ci ca întrebare". Întrucît sînt fizician teoretician, cartea de față s-ar fi putut numi foarte bine „căutarea adevărului în fizică". M-am străduit totuși să ies din cadrul profesiei.

De-a lungul vieții, am scris cîteva monografii științifice. Știam despre *ce* să scriu, dar m-a preocupat prea puțin *cum* scriu. De această dată însă, ambele lucruri s-au dovedit dificile. Nu m-aș fi încumetat să mă îndepărtez de știință pentru a scrie o carte de popularizare, fără ajutorul și bunăvoința prietenilor mei L.B. Okun, A.A. Migdal și E.V. Netiosova. Le exprim cea mai adîncă recunoștință.

Nu știu dacă mi-a reușit proiectul. Pasternak spunea: „...nu tu însuți trebuie să faci deosebirea între înfrîngere și victorie"...



METODA ȘTIINȚIFICĂ DE CUNOAȘTERE

Oricît ar părea de ciudat, obstacolul principal care stă în calea comunicării oamenilor de știință cu cei care nu au contingență cu știința nu este terminologia și nici complexitatea noțiunilor, ci aprecierea diferită a veridicității faptelor și înțelegerea diferită a sarcinilor și metodelor științei. Din acest motiv, trebuie să începem discuția noastră despre știință nu cu niște rezultate științifice concrete, ci cu expunerea metodei științifice care s-a născut în secolul al XVII-lea și care continuă să se dezvolte o dată cu știința însăși.

Vom urmări pe baza mai multor exemple ce eforturi uriașe trebuie depuse pentru ca o vagă intuiție să se transforme într-un adevăr științific, care sînt criteriile științifice

care permit deosebirea adevărului de neadevăr, de care mes tode și reguli se folosește știința în drumul ei spre cunoaștere și, în sfîrșit, în ce mod apar erorile și din ce cauză acestea capătă uneori o formă stabilă, denumită pseudoștiință.

De la intuiție la adevăr

E timpul s-arătăm ce-i adevărul și care e minciuna,
Și dacă nu ne credeți nici o iotă,
Să dăm pe față cărțile pînă la una.

J.B. Molière

Cum se transformă intuiția într-un adevăr științific ferm stabilit? În ce constă diferența dintre aprecierea științifică a veridicității faptelor și aprecierea obișnuită? Care este specificul metodei științifice de abordare a fenomenelor naturii? Pentru a răspunde la aceste întrebări, trebuie să înțelegem mai înainte de toate ce anume îi împiedică pe oamenii care nu au contingențe cu știința să comunice cu reprezentanții științelor exacte.

„*Cum să te-nțeleagă celălalt?...*" (F. Tiutcev)

„Se știe că alela recesivă influențează fenotipul numai dacă genotipul este homozigot".

„Fiecare punct de acumulare al filtrului Cauchy este o limită a acestui filtru".

„Instantonul este o trecere pe sub barieră între vidurile cu sarcini topologice diferite".

Nu se înțelege? Prima frază se referă la genetică și definește diferența dintre caracterele ereditare condiționate și necondiționate. A doua afirmație este din domeniul topologiei (o ramură a matematicii). A treia e din teoria cuantică a cîmpului.

Am vrut să arăt cu ajutorul acestor exemple cît de greu este să vorbești despre știință cu un nespecialist; dar dificultăți și mai mari ridică nu atît terminologia, cît noțiunile neobișnuite.

Nu înseamnă oare aceasta că există anumite domenii ale științei despre care este imposibil să-i vorbești „muritorului de rînd"? Mi se pare totuși că pînă și cea mai complicată teorie poate fi explicată oricui, cu condiția ca pentru aceasta să se depună eforturi la fel de mari ca pentru știința propriu-zisă. Înlăturînd lucrurile neesențiale, se poate clarifica fondul problemei și se poate alcătui o imagine a fenomenului. Punerea în evidență a esenței este folositoare științei înseși, întrucît duce totdeauna la o înțelegere mai clară. Gîndirea profundă are de cîștigat de pe urma simplității. În știință, ca și în artă, simplitatea necesită însă eforturi. Adevărata simplitate o dă numai un maestru.

Se poate alege însă o cale mai ușoară de popularizare, deseori folosită, și anume nu discuția despre știința propriu-zisă, ci despre aplicațiile ei. De exemplu, se poate vorbi despre aparatele de zbor, la fel de minunate în alcătuirea lor ca o pasăre.

Un prieten, fizician din Gruzia, mi-a explicat cum se țin toasturile atunci cînd la masă se află cincizeci de persoane pe care tamada[1] nu le cunoaște de loc. Trebuie să vorbești nu despre om, ci despre ceea ce este legat de el.

La fel se poate vorbi și despre știință.

Dar un țel mult mai dificil și mai nobil este să descrii frumusețile științei, armonia și frumusețea lumii înconjurătoare, așa cum le dezvăluie știința, să creezi un „tablou fizic" al fenomenelor, și să simplifici rezultatele științifice, păstrîndu-le sensul. Pentru toate acestea este nevoie de o muncă științifică susținută, pe care o pot efectua numai oamenii de știință.

Popularizarea științei — chiar dacă reprezintă o problemă dificilă, este rezolvabilă, dar nu ea constituie obstacolul principal în calea înțelegerii reciproce. Cele mai mari dificultăți se întîmpină, oricît ar părea de straniu, nu atunci cînd se descrie esența fenomenelor, ci atunci cînd se încearcă să se explice semnificația metodei științifice de abordare a fenomenelor naturii.

Abordarea științifică începe prin delimitarea granițelor domeniului în care se înscriu cuceririle neîndoielnice ale științei, și prin stabilirea granițelor imposibilului, adică ale reprezentărilor care contrazic experiența științifică îndelungată.

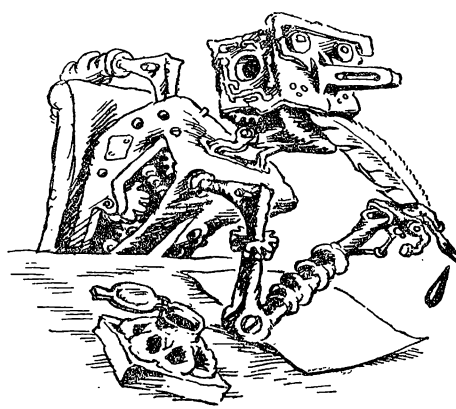
---

[1] Un fel de conducător al festivității, care ține toasturile în cinstea oaspeților la mesele sărbătorești ale unor popoare din Caucaz și din Asia Centrală. — *Nota trad.*

Între cele două granițe se află domeniul fenomenelor nestudiate, dar posibile. De exemplu, se poate spune cu siguranță că nici un fel de dezvoltare ulterioară a științei nu ne va determina să ne îndoim că Pămîntul e rotund, sau să credem în existența unui perpetuum mobile, adică în posibilitatea unei încălcări grosolane a legii conservării energiei.

Deosebirile dintre abordarea științifică și abordarea obișnuită a fenomenelor apar pregnant la determinarea limitelor dintre verosimil și imposibil.

Multe dintre lucrurile care, pînă nu demult, păreau minuni, astăzi au devenit realități. Nu este oare uimitor să stai acasă



și să vezi și să auzi ceea ce se întîmplă la mii de kilometri? Nu e minunat că omul a reușit să vadă planeta noastră din spațiul cosmic? Se putea prevedea oare acum treizeci sau patruzeci de ani construirea unor calculatoare de birou sau de buzunar, care joacă șah, traduc, fac poezii, compun muzică și — lucrul cel mai important — efectuează în cîteva minute calcule pentru care ar fi trebuit să se înhame la lucru o întreagă generație?

Să ne mirăm deci că în mintea multor oameni nefamiliarizați cu știința granițele se șterg și totul devine posibil?

În mod firesc, apar și întrebări: „Dar știința însăși știe unde se află aceste granițe? N-ar putea izbucni la un moment dat o revoluție care să ne răstoarne toate reprezentările?

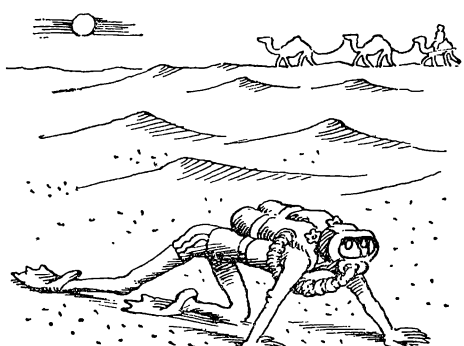
Istoria și logica dezvoltării științei atestă că o asemenea răsturnare este imposibilă.

Nici ideile uimitoare ale teoriei relativității n-au reprezentat o cotitură categorică, ci au apărut ca urmare a dezvoltării

științei și s-au sprijinit pe fundamentul solid al cuceririlor trecutului. Aceste idei se refereau la un cerc de probleme relativ restrîns și practic n-au modificat legile stabilite anterior pentru mecanica și electrodinamica corpurilor care se deplasează cu viteze obișnuite. Cu ajutorul teoriei relativității însă, cunoștințele noastre s-au extins la viteze comparabile cu viteza luminii, domeniu nestudiat pînă atunci.

Pînă la apariția teoriei relativității, era firesc să se presupună că legile mecanicii și ale electrodinamicii ar fi adevărate și la viteze mai mari decît vitezele pentru care au fost stabilite experimental. Îndoielile au început numai o dată cu apariția unor dovezi teoretice și experimentale care contraziceau ipoteza de mai sus. Aceasta este calea obișnuită de dezvoltare a științei. Fără generalizări, noi n-am fi fost confruntați niciodată cu contradicția și n-am fi putut stabili că viteza luminii are un rol în mecanica clasică.

Nu putem ști dinainte care sînt condițiile experimentale care, modificîndu-se, infirmă o lege a naturii, descoperită de noi. Pentru a descoperi o încălcare, trebuie să faci mai întîi cea mai simplă presupunere și anume, că legea se poate extinde și dincolo de limita condițiilor pentru care a fost formulată. Apoi se impune să verificăm dacă această presupunere nu intră în contradicție cu noile experimente.



Noi știm în mod sigur că dezvoltarea științei nu va nega relațiile cunoscute, ci numai va preciza domeniul lor de aplicabilitate. Tocmai stabilitatea cuceririlor științei ne permite să distingem limitele dintre verosimil și imposibil.

Delimitarea dintre verosimil și imposibil nu s-a făcut întotdeauna cu suficient temei. Istoria cunoaște exemple cînd nu numai cei care nu aveau contingență cu știința, ci chiar savanții s-au înșelat în privința granițelor posibilului.

La începutul secolului trecut, Academia franceză a hotărît să nu fie luate în considerație lucrările privitoare la pietrele căzute din cer. Exista opinia că toate descrierile meteoriților — „pietre cerești" — sînt rodul fanteziei, întrucît pietrele n-au de unde să cadă. Această cale de a nega și a înlătura tot ceea ce nu se poate explica este însă foarte periculoasă.

Există multe exemple de idei preconcepute care au frînat dezvoltarea științei. În anii '30, atunci cînd s-a pregătit un experiment pentru verificarea legii simetriei la reflexie în dezintegrarea β, fizicienii teoreticieni erau atît de convinși de inviolabilitatea acestei legi, încît i-au ridiculizat pe experimentatori, iar experimentul n-a mai fost efectuat. Abia în anii '50 teoreticienii au ajuns la concluzia că această lege ar putea fi încălcată în dezintegrarea β, iar experimentul le-a confirmat concluziile.

Unul dintre cei mai mari fizicieni ai secolului al XX-lea, Wolfgang Pauli, considera că teoria lui Dirac are un neajuns insurmontabil și anume acela că ea prezicea existența pozitronilor, care pe atunci nu fuseseră încă descoperiți.

Nici Albert Einstein n-a fost imun față de astfel de greșeli. După formularea teoriei generale a relativității, care arată că în preajma corpurilor cu masă mare geometria euclidiană își pierde valabilitatea, Einstein a făcut încă un pas de o îndrăzneală nemaiîntîlnită. El și-a aplicat teoria la întregul Univers, folosind în locul distribuției reale a masei, o distribuție medie uniformă, așa cum se face în studierea gazelor.

S-a constatat că ecuațiile teoriei gravitației unui astfel de univers nu admit soluții staționare. Dar Einstein dorea să obțină o soluție care să descrie un Univers închis în sine, cu o rază de curbură independentă de timp. Aceasta era ideea lui preconceputâ. El a fost nevoit să introducă în mod artificial un termen suplimentar, care a stricat frumusețea ecuațiilor gravitației.

Aproximativ tot pe atunci, marele matematician din Petrograd, Aleksandr Aleksandrovici Fridman (1888—1925) a studiat soluțiile posibile ale ecuațiilor lui Einstein și a ajuns la concluzia că Universul se dilată și că, în funcție de valoarea

densității medii a materiei, pe lîngă modelul închis al Universului există și un model deschis, în care proporțiile cresc nelimitat. Einstein a criticat lucrarea lui Fridman, dar, după aceea, a fost în întregime de acord cu rezultatele matematicianului petersburghez și a renunțat la termenul introdus suplimentar în ecuațiile gravitației. Iată ce scria Einstein în cea de-a doua sa observație pe marginea lucrării lui A.A. Fridman: „Critica mea, așa cum m-am convins din scrisoarea lui Fridman, transmisă prin d-l Krutkov (Iuri Aleksandrovici Krutkov, membru corespondent al Academiei de Științe a U.R.S.S., profesor la Universitatea din Leningrad) se baza pe o greșeală a mea în calcule. Consider că rezultatele lui Fridman sînt corecte și pun teoria într-o nouă lumină"[2].

Aceste cuvinte au ajuns la Fridman cu puțin înainte de moartea sa. Soluția lui Fridman a fost confirmată experimental în 1929, cînd astronomul american Edwin Hubble a stabilit că Universul se află în expansiune.

În epoca noastră toate cazurile de greșeli asemănătoare se studiază cu minuțiozitate și din ele se trag concluzii metodologice. Datorită mijloacelor de comunicație bine puse la punct, la examinarea problemelor disputate pot lua parte oameni de știință din toate țările. Din acest motiv, astăzi, chiar dacă apar erori științifice, ele au viață scurtă.

„Aș vrea să cred, dar n-am temeiuri"

Știința nu stabilește numai granițele posibilului, dar deosebește în același timp cu exactitate presupunerile, chiar și pe cele mai verosimile, de afirmațiile dovedite. Dacă n-ar exista această reglementare restrictivă, știința s-ar îneca în marea de superstiții și de presupuneri nefondate. Delimitînd lucrurile verosimile de cele dovedite, știința clarifică ce afirmații necesită o continuare a cercetării.

Presupunerea că și în alte lumi există viață nu contrazice știința și reprezentanții acestor lumi ar fi putut vizita odinioară Pămîntul. Dar nu există nici o dovadă pe baza căreia să se afirme că ei au fost vreodată aici. La fel, după părerea specialiștilor, nu există nici un temei să se considere

---

[2] Ideile cosmologice preconcepute ale lui Einstein sînt discutate în cartea lui Jacques Merleau-Ponty, *Cosmologia secolului XX*, Ed. Științifică și Enciclopedică, 1978, p. 58 — 78. — *Nota trad.*

că farfuriile zburătoare ar fi altceva decît fenomene de optică atmosferică.

Este, desigur, foarte plicticos să tot negi fapte neobișnuite. Dar, ca urmare a acestei negări, apare o minune adevărată, și nu una falsă. Dovadă — binecunoscutul „paradox al gemenilor".

Conform teoriei relativității, dacă unul dintre gemeni călătorește cu o navă care se deplasează cu o viteză comparabilă cu viteza luminii, atunci cînd se întoarce, acesta este mai tînăr decît fratele care a rămas acasă. Afirmația, deși uimitoare, a fost dovedită nu numai teoretic, ci și experimental. Ceasurile atomice ultraprecise, trimise cu avionul, au indicat la întoarcere o durată mai mică decît timpul indicat de ceasuri identice, rămase pe Pămînt. Desigur, viteza avionului este mult mai mică decît viteza luminii, astfel încît întîrzierea a fost și ea mică, reprezentînd o proporție de mărimea v^2/c^2 din durata zborului. Totuși, această întîrziere (de ordinul a 10^{-8} secunde) nu numai că s-a confirmat, ci a și coincis, în limita erorilor experimentale, cu predicțiunea teoriei.

Iată încă un exemplu. Întotdeauna s-a crezut că flora și fauna marină există numai la adîncimi nu prea mari, unde mai pătrund razele soarelui și deci unde mai este posibilă fotosinteza. Dar, recent, pe fundul oceanului, la adîncimi de cîțiva kilometri, unde nu pătrunde nici o rază de soare, s-au descoperit zone de temperatură ridicată de natură vulcanică, în care, probabil ca rezultat al unor procese de sinteză chimică, au apărut o floră și o faună specifice. Un cunoscut

oceanolog a prezentat o comunicare despre aceste zone adînci la un congres. Amintind despre monstrul din Loch-Ness și despre omul zăpezilor, același savant a spus: „Tare-aș vrea să cred, dar n-am temeiuri". Cuvintele „n-am temeiuri" înseamnă că problema a fost cercetată, dar s-a ajuns la concluzia că nu există dovezi pentru a crede în afirmațiile inițiale. Aceasta este și formula demersului științific: „vreau să cred", dar, întrucît „n-am temeiuri", trebuie să renunț la ideea în cauză.

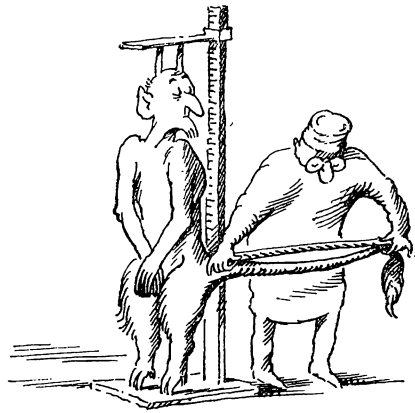
Cum se nasc legendele

Înclinația spre tainic, neobișnuit, apetitul pentru minuni sînt în firea omului, la fel ca și înclinația spre frumos.

Einstein spunea: „Cea mai frumoasă și mai profundă trăire omenească este misterul". După părerea lui Einstein, sentimentul tainei se află la originea tuturor tendințelor profunde din știință și din artă. Dar, din păcate, înclinația spre tainic este în același timp cauza multor zvonuri antiștiințifice.

Trăirile tainice au inspirat mitologia, eposul, literatura, arta. Așteptarea entuziastă a minunii a pătruns în filosofia medievală și a stimulat arta. Epoca Renașterii a descoperit însă o nouă minune — pe omul atotputernic, asemănător lui Dumnezeu. Dar, alături de idealul măreț, există și lumea întunecată a superstițiilor. În timp ce în lume se scriau capodopere poetice și se picta, în timp ce avea loc marea cotitură în știință, cultură și în concepția despre lume, provocată de lucrările lui Copernic, Galilei și Kepler, lumea obscură se ocupa de astrologie, ghicea în cadavre, stîrnea demonii, îngropa măgarii în pămînt ca să aducă ploaia... În zilele noastre (spuneau Ilf și Petrov) există alături două lumi — cea mare și cea mică. În lumea cea mare se construiesc laboratoare automate care zboară pînă la alte planete, le fotografiază, fac analize și trimit rezultatele pe Pămînt. În lumea mică merg din mînă în mînă fotografii ale unor veniți de aiurea, umanoizi, care, după cum se știe, sînt de trei feluri — fie cu o înfățișare neatrăgătoare, fie imposibil de deosebit de europeni, fie giganți care răstoarnă cu o singură mînă tractoarele întîlnite în drum.

Se poate crede în calitățile magice ale unei potcoave bătute în ușă? Se înțelege că simpla credință într-o prevestire poate modifica într-atît comportarea omului, încît prevestirea



va începe să se adeverească. Este foarte probabil ca omul care este convins că va avea neplăceri marți treisprezece, să le aibă exact atunci.

Dar revenind la întrebarea inițială, putem accepta vreo legătură logică între potcoava din ușă și soarta noastră? Această legătură ar fi tot atît de nejustificată ca și încercarea de a stabili o relație între razele orbitelor planetelor sistemului solar și rapoartele frecvențelor sonore ale acordurilor muzicale. Chiar dacă ar exista o legătură, aceasta ar fi pur întîmplătoare, întrucît fenomenele sînt incompatibile, ele fiind determinate de legi diferite ale naturii. Căutarea unor astfel de relații, oarecum scuzabilă la începuturile epocii moderne, reprezintă în zilele noastre o reîntoarcere la mistica numerologică a cabaliștilor.

Iată încă un exemplu de comparare a ceva ce este incompatibil — afirmația că mișcarea electronilor în atom ar fi, chipurile, asemănătoare cu mișcarea planetelor în jurul Soarelui. De fapt, mișcarea electronilor în atom are loc conform legilor mecanicii cuantice, care nu seamănă deloc cu legile mecanicii clasice, care determină mișcarea planetelor. Forțele electrice de interacțiune ale electronilor cu nucleul sînt de 10^{39} de ori mai puternice decît forțele de gravitație, iar electronii se resping unul pe celălalt, în timp ce planetele se atrag. Nu există nici un fel de temei pentru o analogie. Asemănarea exterioară a fenomenelor se rezumă la faptul că forța de interacțiune dintre atomul ionizat și electron se comportă la distanțe mari la fel ca forța gravitațională. Confuzia este întreținută însă de persistența cu care pentru simplificare,

în multe cărți în care este prezentat tabelul lui Mendeleev, electronii sînt desenați pe orbite, deși, în conformitate cu legile mecanicii cuantice, ar trebui să fie înfățișați norii electronici de diverse forme.

La un control riguros, toate coincidențele de acest fel se dovedesc rezultatul unei manipulări forțate, conștiente sau nu, a faptelor. Cu toate acestea, în permanență apar legende care leagă între ele lucruri incompatibile, sau, în cel mai bun caz, stabilesc fără temei astfel de legături. Legendele se schimbă în funcție de loc sau de timp. Moda ședințelor de spiritism apare și dispare, fiind înlocuită de discuțiile despre chirurgia fără curgere de sînge, de triunghiul Bermudelor, sau de OZN-uri.

Dar cum să distingi născocirile de faptele autentice? Doar multe dintre lucrurile pe care oamenii de știință le neagă, sînt susținute de martori.

Singurul mijloc convingător de stabilire a adevărului este organizarea unui experiment științific, adică a unui experiment întreprins de specialiști, cu rezultate reproductibile și confirmat de alți cercetători prin experimente independente.

În ceea ce privește martorii, afirmațiile lor trebuie privite cu deosebită circumspecție. Să ne amintim că, în secolul trecut, pe temeiul mărturiilor, se puteau face diferite portrete ale diavolului, portrete care ar fi putut satisface și pe cel mai exigent colaborator al secției de urmărire penală. Și, în deplină concordanță cu metoda științifică, starețul Zosima, din romanul *Frații Karamazov*, de Dostoievski, a sfătuit-o pe călugărița care vedea diavoli noaptea să ia un laxativ.

Deosebirea dintre aprecierea științifică a veridicității și cea comună este evidentă în disputele legate de telepatie. Dar mai întîi trebuie precizat ce anume înseamnă telepatia. Prin telepatie se înțelege transmiterea gîndurilor cu ajutorul unor cîmpuri cunoscute, sau deocamdată necunoscute, cu condiția excluderii vreunui contact luminos, ori sonor, ori de alt fel, între persoana care emite și cea care recepționează. Din acest motiv, hipnoza nu corespunde acestei definiții și nu dovedește existența telepatiei.

În viața fiecăruia dintre noi există evenimente care, aparent, ar trebui explicate prin telepatie. Capacitatea de a simți dispoziția în care se află cei apropiați și chiar de a le ghici gîndurile desigur că există. Totodată, după afirmațiile specialiștilor care au studiat aceste fenomene, deocamdată nu avem dovezi științifice despre existența telepatiei. Aceasta înseamnă că, în pofida numeroaselor încercări, n-au existat

pînă acum nici un fel de experimente sigure, care să excludă toate explicațiile alternative posibile și care să dea rezultate reproductibile, cu o statistică suficientă pentru a fi convingătoare.

Tocmai din acest motiv, majoritatea oamenilor de știință sînt sceptici în ceea ce privește telepatia.

Există multe fenomene interesante și puțin studiate, legate de o mare sensibilitate psihică și nervoasă. Dacă țineți de mînă o persoană care are o astfel de sensibilitate, sau chiar numai dacă stați alături de ea, dumneavoastră, fără să vă dați seama, îi puteți transmite informații prin mișcări sau sunete ce scapă observației și controlului. Fără să realizați, îi corectați acțiunile prin semnale de tip „da" și „nu". Este vorba despre fenomenele ideomotoare, care pot fi ușor confundate cu telepatia, dar ele, ca și hipnoza, nu constituie o dovadă a existenței telepatiei.

Una din cauzele răspîndirii credinței în telepatie se bazează pe faptul că oamenii apropiați își pot ușor ghici gîndurile după indicii abia observabile, chiar fără să-și dea seama de sursele acestei perspicacități.

Cu mulți ani în urmă, pe vremea cînd eram mai tînăr și mai credul, am vrut să verific dacă nu cumva am capacitatea să transmit gîndurile. Am dat cu banul și apoi am scris un șir numeros de semne de plus și de minus, corespunzătoare feței cu care căzuse moneda: cap sau pajură. La un capăt al mesei ședea prietenul meu, legat la ochi, iar eu m-am așezat la celălalt capăt și am început să transmit „telepatic" lista. Privind la semnul plus, mă gîndeam la ceva alarmant, iar privind la minus, îmi reprezentam ceva anodin și calm. Cel de-al doilea participant la experiment trebuia să pună un plus atunci cînd îmi simțea emoția și un minus atunci cînd îmi detecta liniștea. Comparînd foile de hîrtie, m-am cutremurat — distribuția semnelor era absolut identică, fără nici o greșeală. Observînd că o iau prea în serios, prietenului meu i-a fost milă de mine și mi-a spus: „Cînd te gîndeai la ceva emoționant, respirai sacadat, și eu puneam plus, iar cînd respirai liniștit, puneam minus".

Experiențele de acest fel sînt neconvingătoare, întrucît este foarte greu să se elimine toate explicațiile simple ale fenomenului. Ciclotronul nu are nici un interes să-l păcălească pe experimentator, dar în experimentele de telepatie, rolul instrumentelor îl joacă oamenii, iar oamenii sînt deseori interesați în înșelăciuni.

În cartea lui A. Vadimov și M. Trivas, *De la magii de odinioară la iluziniștii din zilele noastre*, se povestește că strălucitul iluzionist de la începutul secolului nostru, Harry Houdini, a oferit o mare sumă de bani oricărui mediu care ar face ceva ce el, Houdini, nu poate face. Nici un mediu n-a reușit să apară în fața lui Houdini cu demonstrații de telepatie sau telekineză fără să fie demascat. Experimentul pentru verificarea capacităților telepatice trebuie întreprins de un întreg consiliu de specialiști; din acest consiliu trebuie să facă parte iluzioniști, fizicieni, biologi, fiziologi, psihologi, dar rolul principal îl au iluzioniștii — ei sînt cei ce ajută la excluderea explicațiilor mai simple.

Unul dintre izvoarele care alimentează toate superstițiile este deformarea catastrofală a statisticii: zvonurile despre cazurile încununate de succes se răspîndesc, în timp ce toate eșecurile rămîn necunoscute. Cine este interesat să afle că prezicerile unei ghicitoare nu s-au adeverit? Dar dacă fie și o mică parte din prezicere s-a împlinit, faptul este amplificat și înfrumusețat.

Desigur, aceste considerente nu demonstrează inexistența telepatiei, ci numai că existența ei nu este plauzibilă.

Aici se relevă încă o caracteristică a abordării științifice. Așa după cum juriștii pornesc de la prezumția nevinovăției, știința pornește de la prezumția inexistenței minunilor. Noi nu sîntem obligați să demonstrăm că nu există fenomene stranii sau neobișnuite. Trebuie demonstrat că ele există. Din acest motiv, pînă cînd nu sînt excluse în mod categoric toate explicațiile naturale, adică de fapt cele mai plauzibile, nu este cazul să se accepte altele mai puțin plauzibile. Despre aceste lucruri s-a exprimat foarte plastic cunoscutul fizician american Richard Feynman: „Pe baza propriilor mele reprezentări despre lumea exterioară, eu cred că relatările despre farfuriile zburătoare sînt mai degrabă consecința unui fapt bine cunoscut, anume al gîndirii iraționale a locuitorilor planetei noastre, decît rezultatul eforturilor raționale ale unor ființe ce gîndesc de pe altă planetă. Prima variantă este mult mai plauzibilă".

Misiunea științei este să selecteze cele mai plauzibile explicații și să se conformeze acestora, pînă în momentul cînd experimentul o obligă să le respingă. Aceasta nu înseamnă că trebuie interzise încercările de a descoperi fenomene neplauzibile. Feynman spunea: „Una dintre căile de a opri progresul

științei este să permiți experimente numai în acele domenii în care toate legile au fost deja descoperite".

Desigur că experimentatorii nu trebuie să-și fixeze drept țel dovedirea ori infirmarea existenței telepatiei. Problema constă în studierea multilaterală a tuturor posibilităților de interacțiune umană, începînd cu cîmpurile fizice care îl înconjoară pe om. Încercarea de a dovedi sau de a respinge ceva duce deseori la experiențe tendențioase. Descoperirile apar numai ca un produs secundar al cercetărilor profunde.

În știință s-a adoptat de mult o ipoteză simplă și convingătoare, potrivit căreia procesele din natura vie sînt determinate în cele din urmă de legile interacțiunii electronilor, atomilor și moleculelor, stabilite în experimentele de fizică. Pînă acum, ipoteza de mai sus a fost confirmată. Mai mult, ea a fost atît de fructuoasă, încît a explicat pînă și un fenomen atît de misterios cum ar fi ereditatea.

Dar va trebui să abandonăm această ipoteză dacă niște experimente convingătoare vor dovedi că în natura vie există procese care nu se bazează pe legile fizicii. Un astfel de exemplu ar fi descoperirea unui cîmp care nu se manifestă în experimentele fizice. Totuși, înainte de a trage o concluzie atît de importantă, ca existența cîmpurilor nefizice care transmit informație, trebuie să se stabilească în mod indubitabil fenomenul însuși, excluzînd toate explicațiile sale mai simple.

Nădăjduiesc că aceste observații critice nu vor leza sentimentele celor care prețuiesc latura poetică a legendelor și credințelor, și nici nu vor slăbi interesul firesc al dumneavoastră pentru lucrurile misterioase și pentru ceea ce este necunoscut.

„...*Necazu-i cînd s-o apuca de copt colaci nepriceputul*"

Spun adesea: „după cum afirmă specialiștii". Aceasta nu înseamnă că n-am și eu o părere proprie. Am subliniat însă că dreptul la aprecieri îl au numai specialiștii din domeniul respectiv al științei. Dacă vi se întîmplă să auziți vorbindu-se despre triunghiul Bermudelor, sau despre OZN-uri, aveți tot dreptul să-l întrebați pe respectivul ce profesie are și de ce crede că părerea lui ar trebui acceptată cu mai multă ușurință decît cea a oceanologilor, sau a specialiștilor în optica atmosferică.

Ca să îți faci o părere proprie, nu trebuie să fii neapărat tu însuți un specialist. Dar trebuie să ai o pregătire suficientă

pentru a-ți da seama care opinie are mai multă autoritate.

Sper că nu mai trebuie să conving pe nimeni de necesitatea unui profesionalism desăvîrșit în știință. De fapt, orice meserie pretinde o atitudine de profesionist și un studiu corespunzător. Nimeni n-ar accepta să fie operat de un chirurg-amator. Un cîntăreț, chiar dacă are calități deosebite, devine cu adevărat cîntăreț numai după un studiu îndelungat. Bazîndu-te doar pe bunul simț, fără să ai studii de specialitate, nu poți analiza opere de artă, deși, din păcate, sînt destui care o fac. Nu ai dreptul nici măcar să spui „e bine" sau „nu e bine", pînă cînd nu ești sigur că ai înțeles problemele pe care le ridică autorul și mijloacele de care se folosește. În privința operelor de artă, spectatorul, indiferent de calificare, are dreptul să spună numai dacă îi plac sau nu. În știință însă, exprimarea opiniei necesită un anumit nivel de cunoștințe. Nu poți spune: „Mie nu-mi place teoria relativității". Pentru aceasta este nevoie să înțelegi semnificația afirmațiilor teoriei.

Nu este obligatoriu să ai o diplomă universitară. Calitățile profesionale le poți dobîndi și ca autodidact. Nu toți absolvenții Institutului de literatură sînt scriitori, în schimb inginerul Dostoievski, ofițerul de artilerie Tolstoi, medicul Cehov — sînt exemple de profesioniști ai literaturii.

Profesionist este cel care stăpînește la perfecție metoda, care cunoaște bine toate subtilitățile, toate pericolele și secretele meseriei.

Profesionalismul este o condiție necesară, dar, desigur insuficientă, el fiind într-un anume sens bunul simț al activității științifice. Și mai importante sînt ideile neașteptate, clarificările, intuiția... Totuși, ideile neașteptate care se dovedesc viabile și după verificări încolțesc numai pe terenul fertil al profesionalismului.

Fără calități profesionale nu numai că nu se pot face lucrări științifice, dar nici măcar nu se poate emite vreo idee cît de cît coerentă. Intuiția științifică, absolut necesară pentru generarea ideilor, apare ca rezultat al activității științifice susținute. La fel ca în circ, în știință lucrurile complicate sînt apanajul celor cu cel mai înalt nivel profesional.

Toate discuțiile despre avantajele diletantismului pornesc de la o confuzie: oamenii uită că, pentru ca un fizician să devină sculptor, și un lăcătuș, scriitor, aceștia trebuie să stăpînească tainele noii lor profesii.

Mintea ageră a diletanților, negrevată de cunoștințe inutile, nu cunoaște limite, astfel încît le este accesibil orice dome-

niu științific sau artistic. Și cît de romantice le sînt plăsmuirile! Nu ți-e oare sufletul cucerit de afirmația că ideile teoriei relativității pot fi găsite în vechile legende indiene? Dostoievski îi răcorește cu un duș rece pe fanteziști, afirmînd în *Jurnalul unui scriitor*[3]: „Puteți să-mi dați tot ce doriți... *Însemnările unui nebun*, oda *Dumnezeul*, *Iurii Miloslavski*, poeziile lui Fet, tot ce vreți, și mă oblig să vă găsesc în primele zece rînduri că e vorba de o alegorie despre războiul franco-prusian sau un pamflet împotriva actorului Gorbunov, într-un cuvînt, despre ce vreți". Teoria științifică este tot atît de departe de mitul antic, ca un avion cu reacție din zilele noastre de covorul zburător.

Cînd diletantismul nu iese din cadrul unui hobby, atunci cînd el constituie numai odihna după munca de zi cu zi, contribuind totodată la lărgirea orizontului, el este minunat. Dar ca să faci un lucru serios, trebuie să fii profesionist. Descoperirea Troiei este un exemplu rarisim de succes al unui neprofesionist. Dar remarcabilul entuziast Heinrich Schliemann[4], grăbindu-se să facă o descoperire, a distrus straturile arheologice superioare, care au fost definitiv pierdute pentru știință.

Unii oameni, fără legături directe cu știința, se apucă să emită judecăți despre probleme care necesită o educație profesională a gîndirii, ba chiar pretind că fac o cotitură în știință, eludînd etapa uceniciei. Văzîndu-i, rămîi cu un gust amar.

Există multe procedee profesionale comune tuturor științelor exacte. Sînt metode care oferă posibilitatea verificării validității ideilor încă înainte de începerea lucrului. Este posibil să se dividă problema într-o serie de probleme mai ușoare, a căror rezolvare este mai simplă. După soluționarea problemei mai simple, este incomparabil mai ușor să se rezolve problema mai complicată. Este foarte important să se discute lucrarea împreună cu alți specialiști, în toate stadiile, de la primele indicii, pînă la deplina ei finisare. Dar despre aceasta vom mai vorbi.

Lucrul cel mai important, fără de care nici cele mai înalte capacități profesionale nu duc la reușită, este să te bucuri și să te uimești la fiecare succes, cît de mic, la fie-

---

[3] Vezi F.M. Dostoievski, *Opere*, vol. II, Editura Univers, 1974. — *Nota trad.*

[4] Vezi C.W. Ceram, *Zei, morminte, cărturari*, Editura Științifică, 1968. — *Nota trad.*

care taină dezlegată și să te comporți față de știință cu acea evlavie despre care vorbea Einstein: „Sînt mulțumit și uimit că reușesc să dezleg aceste taine și încerc cu smerenie să îmi reprezint un tablou, nici pe departe complet, al structurii Universului".

Putem deosebi adevărul de minciună?

Rațiunea n-are de ales, dacă în față îi stau adevărul și născocirea.

Cicero

Nu de mult, o actriță talentată mi-a povestit că în prezența unui numeros public, un individ i-a suspendat cizmele în aer numai prin „forța spiritului". Respectivul a afirmat că posedă 9 000 de „unități" din această forță, în timp ce recordul mondial ar fi de numai 7 000.

Zilnic oamenii nefamiliarizați cu științele naturii sînt asaltați de fapte neverificate și de zvonuri, astfel încît credința în supranatural a devenit un fel de modă, ca și un oarecare semn de rafinament. Sper ca lucrurile discutate aici să ajute — fie și parțial — la deosebirea rationalului de irațional, a trucului ingenios de adevărul științific, a minunii stranii de minunea adevărată a armoniei Universului.

Să încercăm să răspundem la cîteva întrebări.

În ce constă metoda științifică de cunoaștere?

Cum se nasc erorile? Care sînt micile greșeli de raționament care duc la concluzii antiștiințifice?

Și, în sfîrșit, cum se poate deosebi adevărul științific de eroare?

„Îndoiala îmi oferă tot atîta desfătare cît cunoașterea" (Dante)

Problemele științei se află la granița dintre lucrurile cunoscute și cele surprinzătoare. De aici decurge și una dintre principalele ei trăsături — deschiderea la nou, capacitatea

de a reexamina reprezentările încetățenite și — dacă este nevoie — de a renunța la ele.

Știința este alcătuită din fapte, din relațiile dintre fapte și din explicațiile acestor relații. Faptele și relațiile trebuie respectate cu grijă, așa cum este respectat Codul Penal. Faptele bine stabilite rămîn neschimbate, numai relațiile se precizează o dată cu dezvoltarea științei. Interpretarea faptelor și a relațiilor, adică reprezentările bazate pe tabloul simplificat în mod conștient al fenomenelor, nu trebuie absolutizate. Reprezentările sau modelele se dezvoltă și-și schimbă aspectul cu fiecare nouă descoperire.

În discursul rostit cu prilejul primirii premiului Nobel, Albert Camus a spus că arta pășește pe o potecă îngustă între două prăpastii: de o parte — vidul, de cealaltă — tendențiozitatea. În știință, aceste două prăpastii sînt superficialitatea și dogmatismul, cele două laturi ale pseudoștiinței. Cei superficiali își elaborează concepțiile fără să țină seamă de fapte și de relații, ignorînd fenomenele și relațiile dintre ele și bazîndu-se doar pe intuiții neverificate. Dogmaticii absolutizează reprezentările curente. E greu de spus care dintre aceștia sînt mai periculoși.

Printre oamenii de știință incapabili să renunțe la reprezentările încetățenite sînt mulți care au o vastă cultură științifică și care produc lucrări bune, deși fără să iasă din cadrul obișnuit. Atîta timp cît se limitează la această activitate, ei sînt folositori. Pericolul apare atunci cînd ei încep să facă prognoze și să influențeze alegerea direcțiilor noi.

Din fericire, știința are capacitatea de a se autopurifica — legătura cu conexiune inversă îi asigură stabilitatea. După o serie de insuccese, dogmaticii și superficialii încetează să influențeze dezvoltarea științei.

Secolul al XX-lea a oferit exemple uimitoare de renunțare la reprezentările obișnuite din fizică. Teoria relativității a apărut ca rezultat al revizuirii înțelesului intuitiv al simultaneității, care avea o vechime de sute de ani. Mecanica clasică pornește de la premisa că fenomenele pot fi descrise dacă se cunosc coordonatele și vitezele particulelor. Mecanica cuantică impune renunțarea la această premisă.

Oare aceste renunțări la vechile premise nu dovedesc neconsistența științei din trecut?

„Ca să nu încalci, să nu zdruncini, să nu distrugi, ci să construiești...“ (V. Vîsoțki)[5]

Există o părere eronată că valoarea unei descoperiri științifice s-ar măsura, chipurile, după cît de multe concepții răstoarnă.

Importanța revoluției științifice constă însă nu în capacitățile ei distructive, ci în cele constructive, în impulsul pe care îl imprimă dezvoltării științei, în domeniile noi pe care le deschide.

Adesea precedentele concepte științifice rămîn neschimbate. O răsturnare fără vărsare de sînge a avut loc în astrofizică, o dată cu apariția radioastronomiei, iar în fizica teoretică, atunci cînd s-au descoperit „graficele Feynman“ — un mijloc de a obține relații între mărimile fizice cu ajutorul desenelor, care se interpretează la sfîrșitul lucrării.

Și fizica particulelor elementare s-a schimbat categoric în ultima vreme, dar fără modificarea principiilor fundamentale ale descrierii lumii fizice.

Dar nici chiar revoluția științifică radicală nu desființează, ci numai revizuiește, modifică semnificațiile vechilor relații și delimitează granițele valabilității acestora.

În știință există „principiul corespondenței“ după care, noua teorie trebuie să treacă în cea veche, în condițiile pentru care a fost stabilită valabilitatea vechii teorii.

Stabilitatea este însușirea cea mai importantă a științei, altfel, după fiecare descoperire, totul ar trebui luat de la început.

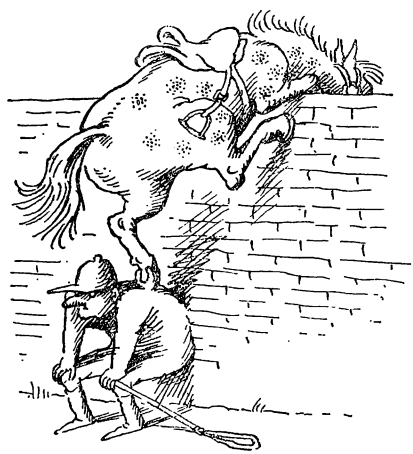
După ce a fost stabilită echivalența dintre energia mecanică și energia termică (și s-a găsit așa-numitul echivalent mecanic al căldurii), fizicienii au renunțat la reprezentarea căldurii ca pe un fluid, numit caloric, care ar curge de la corpul fierbinte la cel rece. Dar legile conductibilității, stabilite pe vremea teoriei caloricului, nu s-au schimbat.

La începutul secolului al XX-lea, teoria atomistă a materiei a fost pe deplin dovedită, fiind unanim acceptată. Toate relațiile științelor „macroscopice“ — termodinamica, hidrodinamica, teoria elasticității — s-au păstrat fără schimbări.

---

[5] Regretat actor al teatrului Taganka din Moscova, (1938—1980), compozitor și interpret de cîntece satirice cu caracter social, de mare popularitate în Uniunea Sovietică. — *Nota trad.*

Aceste științe au continuat să prevadă fenomene noi, numai că, în noua situație, ele și-au delimitat mai precis domeniile de aplicabilitate.



Tot atunci, la începutul secolului, a avut loc o cotitură în concepția noastră despre spațiu, timp și gravitație, dar știința „vitezelor mici" s-a menținut nu numai în accepția principiului de corespondență, ci a continuat să se dezvolte și, practic, întreaga tehnică modernă, reprezentată de calculatoare, de televiziune și de radio, de zborurile cosmice, de chimia și biologia contemporane — folosesc în mod curent reprezentările newtoniene despre spațiu și timp.

Un exemplu grăitor de împletire a ideilor vechi și noi îl oferă istoria eterului (vezi p. 210).

Pentru explicarea legilor de propagare a luminii în vid și în corpurile în mișcare, eterului i se atribuiau cele mai complicate și mai contradictorii însușiri. Teoria relativității a rezolvat toate contradicțiile eterului, așa cum apăreau ele în secolul al XIX-lea. Mai mult, a dispărut pînă și necesitatea acestei noțiuni. Totuși, mai tîrziu, s-a clarificat că fostul eter — vidul — nu este numai purtătorul undelor electromagnetice. În vid au loc oscilații neîntrerupte ale cîmpului electromagnetic („oscilațiile de zero"), se nasc și dispar electronii și pozitronii, protonii și antiprotonii și, în general, toate particulele elementare. Dacă se ciocnesc, să zicem, doi protoni, particulele

virtuale din vid devin reale și se naște astfel un fascicul de particule.

Vidul se vădește a fi un obiect fizic extrem de complicat. În esență, fizicienii s-au întors la concepția eterului, dar de această dată, fără contradicții. Vechea noțiune n-a fost dezgropată din arhivă, ci a apărut din nou, în procesul dezvoltării științei. Noul eter a fost denumit „vidul fizic".

Dar istoria eterului nu se termină aici.

Teoria relativității pornește de la premisa că în lumea noastră nu există nici un sistem preferențial de coordonate și, din acest motiv, nu există viteze absolute, ci numai mișcări relative. Dar, după descoperirea radiației relicte[6], un asemenea sistem de coordonate s-a dovedit real — acesta este sistemul în care cuantele radiației relicte sînt distribuite în simetrie sferică, așa cum sînt distribuite vitezele particulelor de gaz într-o incintă nemișcată. (Radiația relictă constă din unde electromagnetice apărute cu circa 20 de miliarde de ani în urmă, cînd Universul era fierbinte. Studiind radiația relictă, se poate deduce cum arăta Universul în stadiile sale timpurii de dezvoltare.) În „noul eter" există viteze absolute; totuși, consecințele teoriei relativității se mențin cu o precizie colosală, în concordanță cu principiul de corespondență.

Istoria eterului continuă.

Aplicarea mecanicii cuantice la teoria gravitației a dus la un rezultat de cea mai mare importanță — în afară de oscilațiile de zero ale particulelor elementare despre care am amintit mai sus, în vid există oscilații de zero ale cîmpului gravitațional. Dar, așa cum rezultă din teoria gravitației a lui Einstein, modificările cîmpului gravitațional duc la modificarea proprietăților geometrice ale spațiului. Raportul dintre lungimea circumferinței și rază oscilează în jurul valorii 2π, conform geometriei euclidiene. La distanțe mari, aceste oscilații practic nu se mai pot decela, dar, pe măsură ce scade scara distanțelor, amplitudinea „vibrațiilor" geometriei vidului crește.

În ultima vreme, fizicienii teoreticieni încearcă să clarifice care este influența reciprocă dintre aceste vibrații ale proprietăților geometrice și vibrațiile de zero ale particulelor elementare. Einstein spera să unifice gravitația și electrodinamica, dar o astfel de teorie ar merge mult mai departe —

---

[6] Vezi: Steven Weinberg, *Primele trei minute ale universului*, Editura Politică, 1984. — *Nota trad.*

ea ar însemna o „superunificare" a tuturor interacțiunilor fizice cunoscute.

Romantismul și poezia științei constau nu în distrugerea ideilor anterioare, ci în întrepătrunderea și împletirea ideilor vechi și noi. În știință, ca și în artă, operele noi nu le desființează pe cele vechi, ci le completează.

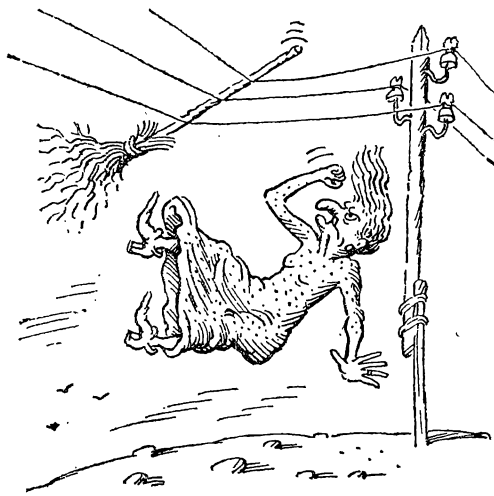
În felul acesta, știința își apără cuceririle. Dar cum se stabilesc adevărurile științifice? Una dintre metodele cele mai importante este verificarea experimentală a predicțiunilor teoretice.

„Civililor le place să emită judecăți în probleme militare, mergînd pînă la îndatoririle feldmareșalilor, iar oamenii cu studii inginerești discută mai ales despre filosofie și economie politică" (F. Dostoievski)

„Experimentul este experiment, chiar dacă îl efectuează niște ziariști", s-a scris la noi într-o revistă, în legătură cu întîlnirea redacției cu un personaj avînd calități extrasenzoriale, un „mediu", după cum s-ar fi spus acum o sută de ani. Nu mi s-a întîmplat niciodată să întîlnesc vreun experimentator care să nu zîmbească la auzul acestei fraze. Lucrul cel mai delicat și mai complicat este organizarea unui experiment cu rezultate univoce. Aici este necesar cel mai strict profesionalism.

Pentru stabilirea adevărului, este necesar un experiment științific, adică un experiment organizat de specialiști, care să dea rezultate reproductibile, și care să fie repetat independent de alți cercetători. Acest procedeu se aplică în mod identic în toate științele experimentale: în fizică, chimie, astronomie, biologie, psihologie... În astronomie, în locul cuvîntului „experiment (pe care dicționarul îl definește după cum urmează: experiență, încercare, probă), se folosește cuvîntul „observație", care subliniază imposibilitatea de a schimba, după dorința experimentatorului, mersul evenimentelor — dar esența rămîne. Experimentul astronomic constă într-o alegere potrivită a locului, momentului și mijlocului de observație, astfel încît să se obțină răspunsul la întrebarea pusă. De fapt, în zilele noastre, cu ajutorul sateliților, a devenit posibilă realizarea unor experimente astronomice în adevăratul înțeles al cuvîntului.

Chiar și în matematică, în procesul căutării demonstrațiilor se emit judecăți de plauzibilitate, care trebuie verificate, deci se face un experiment.



În științele experimentale, procesul demonstrației nu se întrerupe niciodată, întrucît limitele între care se verifică corectitudinea ipotezelor se extind permanent.

Iată un exemplu de experiment astronomic. După mecanica newtoniană (clasică), planetele trebuie să se deplaseze pe niște elipse, ale căror axe sînt fixe în spațiu. Acest fapt a fost verificat prin observații numeroase asupra traiectoriei lui Mercur. S-a dovedit că predicțiunea teoriei lui Newton se verifică extrem de precis; cu toate că orbita lui Mercur se modifică, mișcarea este foarte lentă: o precesie la trei milioane de ani. Concomitent cu confirmarea strălucită a predicțiunilor mecanicii clasice, a apărut și un paradox — trebuia explicată această abatere minoră, dar principial importantă de la teoria lui Newton, conform căreia orbita ar fi strict nemișcată. Explicația a apărut numai după elaborarea teoriei gravitației (teoria relativității generale) care a permis calcularea vitezei unghiulare de rotație a orbitei, exprimînd-o prin constanta gravitațională, masa Soarelui și viteza luminii. Acesta este încă un exemplu uimitor al frumuseții științei —

teoria a legat în mod unitar fenomene atît de diferite ca gravitația și propagarea luminii.

Dar nici în fizică, nici în chimie și nici în astronomie nu se reușește întotdeauna să se repete condițiile experimentului. Cum rămîne atunci cu biologia sau cu psihologia, unde obiectele de studiu se deosebesc unul de celălalt?

Pot fi pretinse și în aceste cazuri repetabilitatea experimentului și reproductibilitatea rezultatelor? Da, repetabilitatea și reproductibilitatea sînt posibile și necesare, întrucît fără ele nu există știință. Desigur că aici este mult mai dificil să se facă un experiment lipsit de ambiguități, în schimb, nu este nevoie de precizia extraordinară care s-a impus pentru stabilirea abaterilor astronomice de la mecanica newtoniană. Cel puțin în stadiul lor actual de dezvoltare, în aceste științe rezultatele calitative sînt considerate satisfăcătoare.

Desigur, obiectele biologice nu seamănă la fel de mult între ele ca moleculele, dar au uimitor de multe lucruri în comun. Această parte comună și convergența proprietăților permit să se stabilească legitățile ce stau la baza științei. Legile geneticii au fost descoperite de Gregor Mendel la mazăre și de Thomas Morgan la drosophyla, dar s-au dovedit aplicabile la o mulțime de alte obiecte biologice.

Pînă și diversitatea proprietăților poate constitui obiectul științei, adică al experimentului repetabil. Se pot studia caracteristicile statistice ale obiectelor, determinînd probabilitatea apariției unuia sau altuia dintre caractere.

Trebuie spus că în orice domeniu științific, un experiment de finețe se reproduce cu dificultate. În fizică, atunci cînd efectul studiat este comparabil cu fondul[7] fenomenelor care împiedică măsurătoarea, se impune efectuarea de măsurători numeroase, pentru a „acumula statistică", astfel încît rezultatul să devină suficient de convingător.

Majoritatea erorilor și a convingerilor greșite apar ca urmare a deducțiilor pripite bazate pe experimente neconvingătoare. Dar care experimente trebuie considerate convingătoare? Oare trebuie să credem ceea ce vedem cu ochii proprii?

---

[7] În cercetarea experimentală, prin fond se înțelege totalitatea fenomenelor parazite care pot da efecte comparabile cu fenomenul studiat. În fizica nucleară, fondul este cel mai adesea radiația cosmică. — *Nota trad.*

În codru, pe cînd tot păşeam înainte
Văzui o raţă şi o vulpe care coceau plăcinte
Şi-un urs care-ncerca nişte ciuboate
Şi-un prost ce le credea pe toate.
(Cîntec englez pentru copii)

Şi ce-ar fi dacă dumneavoastră aţi vedea cu propriii ochi un mediu zburînd prin cameră? Înainte de toate, m-aş strădui să exclud cele mai plauzibile explicaţii — truc reuşit, halucinaţie, hipnoză, iluzie optică. Toate acestea sînt incomparabil mai probabile decît încălcarea legilor bine verificate ale gravitaţiei. Dacă vedeţi lucruri neverosimile, ştergeţi-vă ochelarii!

O cană ar putea sări brusc un metru sub acţiunea loviturii moleculelor mesei pe care stătea, dacă moleculele s-ar mişca toate în aceeaşi direcţie. Probabilitatea unui astfel de fenomen este însă extraordinar de mică. Întrebat despre o astfel de posibilitate, renumitul fizician polonez Marian Smoluchowski a răspuns: „Aş zice că este mult mai probabil să nu fie adevărat ceea ce văd".

Uimitoarea credulitate a oamenilor faţă de relatările uimitoare se bazează pe tendinţa proprie psihicului uman de a se confrunta cu lucrurile ieşite din comun. Noi folosim criterii diferite ale bunului simţ în viaţa practică sau atunci cînd apreciem dacă o minune este verosimilă. Toţi se miră de ceea ce face Akopian[8], dar nimeni nu consideră că face minuni. Aceleaşi trucuri produse de un mediu într-o cameră semiobscură sînt ridicate însă la rangul de manifestări supranaturale.

Există obiecte cărora li se atribuie de-a dreptul o existenţă semi-mistică: foarfecile, stilourile, cărţile... Ele dispar de sub ochi cît ai clipi. Şi totuşi, nu există temei pentru care să afirmăm că ne-am confruntat cu forţe supranaturale: mai curînd sau mai tîrziu, obiectele pierdute vor fi găsite.

Dacă ne dispare o carte, nu ne trece prin minte nici un moment că ea s-ar putea să fi trecut într-altă stare, sau că ar fi sustras-o prin forţa voinţei un bibliofil cu puteri extrasenzoriale, ori că a împrumutat-o un extraterestru dornic de lectură. N-o să credem pentru nimic în lume că o vază s-a spart „singură", în schimb sîntem gata să credem că o furculiţă poate fi îndoită prin forţa spiritului. Pînă şi copiii sînt

[8] Renumit iluzionist sovietic. — *Nota trad.*

astăzi mai puțin creduli, iar Carlsson[9], care trăiește pe acoperiș, a trebuit să-și facă rost de elice și motor. Adultul nu crede în Carlsson, dar crede în extraterestrul care răstoarnă un tractor cu o singură mînă.

În disputele despre farfuriile zburătoare, pilotate de umanoizi, adepții extratereștrilor au ajuns să-i învinuiască pe oamenii de știință că ar nega însăși existența OZN-urilor. Dar specialiștii nici nu se gîndesc la așa ceva. Ei afirmă numai că farfuriile zburătoare sînt fenomene ale opticii atmosferice sau ale electricității atmosferice și că deocamdată nu există nici cel mai mic motiv să le considerăm nave cosmice.

Dar cum rămîne cu martorii oculari?

Sînt cazuri cînd nu se poate fără ei. Fulgerul globular n-a fost obținut în laborator și deocamdată nu există experimente științifice în care să i se fi studiat proprietățile. Deși nu dispunem decît de informațiile unor martori, sîntem convinși că fulgerul globular există: mărturiile concordă. Cît despre proprietăți, ele vor fi clarificate numai după efectuarea unor experimente științifice.

Descrierea extratereștrilor nu este cu nimic mai prejos decît descrierea stafiilor. După statistica americană, s-ar părea că, de regulă, femeile întîlnesc umanoizi de pe planeta

[9] Personaj din povestirile nordice pentru copii. — *Nota trad.*

războinicului Marte, iar bărbații — umanoide de pe atrăgătoarea Venus.

Juriștii știu bine cît de neconcludente sînt adesea relatările martorilor oculari. Iată ce se spune despre Woland în romanul *Maestrul și Margareta* al lui Mihail Bulgakov: „Ulterior, cînd, sincer vorbind, era prea tîrziu, diferite instituții l-au descris pe omul cu pricina în cîte o notiță informativă, a căror confruntare nu putea să nu trezească uimirea. Astfel, în prima se spunea că omul era mic de stat, avea dinți de aur și șchiopăta de piciorul drept. În a doua, dimpotrivă, că era un uriaș, avea coroane de platină și șchiopăta de piciorul stîng. A treia informa laconic că omul nu avea semne particulare"[10].

Într-una dintre povestirile sale, Anatole France scrie că sub ferestrele istoricului, politicianului și navigatorului englez din secolul al XVI-lea Walter Rayleigh, care lucra la manuscrisul său intitulat *Istoria universală*, a izbucnit o bătaie. A doua zi, discutînd despre eveniment cu prietenul său, care fusese martor și participant la bătaie, acesta l-a contrazis în privința fiecărui amănunt. Deducînd de aici că e dificil să te descurci în evenimentele trecutului, dacă pînă și cele prezente sînt văzute în mod diferit de diverși martori, el a aruncat în foc cele scrise pînă atunci.

În concluzie, relatările martorilor oculari trebuie recepționate așa cum merită, ca un izvor de informații care necesită o confirmare științifică și o verificare științifică.

Cum se naște credința în supranatural? Una dintre cauze este dorința de a vedea o minune, sau măcar de a auzi despre așa ceva. Din acest motiv, toate cazurile de preziceri izbutite, de fenomene misterioase, de visuri prevestitoare rămîn în memorie și sînt înfrumusețate, iar cele neizbutite se uită. Se formează astfel impresia că fenomenele stranii sînt mult mai numeroase decît ar fi în realitate, unde ele sînt numai o urmare a coincidențelor întîmplătoare.

Dar, s-ar putea ca pricina cea mai importantă a credinței noastre în minuni să fie neobișnuitele rezerve de posibilități ale omului, rezerve care se relevă cîteodată sub forma unor capacități uimitoare. Există oameni care simt creșterea infimă a temperaturii provocată de trecerea degetelor pe o foaie de hîrtie. Este posibil ca această însușire să explice capacitatea unora de a descoperi locul bolnav, plimbînd mîinile

---

[10] Mihail Bulgakov, *Maestrul și Margareta*, trad. Natalia Radovici, Editura Univers, 1970. — *Nota trad.*

pe lîngă corp. Se știe că în zona organului bolnav temperatura este ceva mai ridicată. Spărgătorii de bănci simt cu vîrfurile degetelor cele mai mici impulsuri ale mecanismului caselor de bani și le dezleagă astfel cifrul. S-ar părea că este imposibil de explicat prin legi naturale ceea ce reușește să facă un echilibrist iscusit. Este ușor să înțelegem că un om sensibil vă ghicește dorințele după cele mai mărunte indicii, de neobservat pentru dumneavoastră și chiar pentru el însuși. Un astfel de om este deseori convins că recepționează niște informații pe cale misterioasă, prin intermediul biocîmpului.

Voința hipnotizatorului influențează comportarea unui alt om — dar se uită în aceste cazuri că ordinul se transmite nu cu ajutorul unor cîmpuri supranaturale, ci prin intonație, sau prin mișcarea mîinilor. Atunci cînd se afirmă că o persoană dotată cu calități extrasenzoriale a vindecat un bolnav, se presupune de obicei că energia tămăduitorului se transmite prin mîinile sale pacientului. De fapt, nici o cantitate sensibilă de energie nu poate ieși prin mîini; aceasta ar contrazice legile fizicii. Dar, prin mișcări de mîini, se poate determina bolnavul să-și mobilizeze propria energie.

Acestea sînt mecanismele de răspîndire ale credinței în fenomenele supranaturale. În mod asemănător apar și afirmațiile antiștiințifice care alimentează pseudoștiința.

Dar pînă și un experiment corect nu stabilește decît niște fapte. Știința nu este însă alcătuită numai din fapte, ci și din relațiile dintre ele, principalul constînd în sistematizarea acestor relații cu ajutorul unor modele simplificate în mod conștient. Numai după ce apare un sistem solid de reprezentări — teoria — devine posibilă predicțiunea unor noi fenomene. Dar pentru edificarea teoriei este necesar tot atît de mult profesionalism, ca și pentru efectuarea unui experiment științific.

Cum se edifică teoriile

Științele experimentale se dezvoltă cu ajutorul raționamentelor plauzibile care se impun să fie verificate ulterior.

Înainte de a porni la vînătoare după fiara necunoscută — Lilifantul — prietenul lui Winnie-Pooh[11], purcelușul Guiț, întreabă:

[11] Personaje și situații din celebra carte pentru copii a lui A.A. Milne, *Winnie ursulețul*, trad. Zoe Dumitrescu-Bușulenga, Editura Ion Creangă, 1973. — *Nota trad.*

„Oare vine într-adevăr cînd îl fluieri? Și cum vine? Și, la urma urmei, îi plac purceii? Și, dacă îi plac purceii, nu face deosebire între purcei și purcei?"

În acest fel se judecă faptele. Cu aceasta începe teoria. Marele matematician francez Henri Poincaré compara adunarea faptelor disparate cu un morman de pietre din care trebuie să construiești o casă. Pentru a deține capacitatea predicțiunii, trebuie ca, pornind de la fapte, să fie conceput un model simplificat sau o teorie a fenomenului. După aceasta, teoria trebuie supusă unei verificări riguroase, îi trebuie probată rezistența, așa cum se încearcă un băț, îndoindu-l, ca să vezi dacă nu se rupe. Cînd, chiar la sfîrșit, modelul nu rezistă la verificare, trebuie construită o nouă teorie, care să țină seama și de faptele care au existat mai înainte, și de faptele care au apărut pe parcursul verificării.

Atunci cînd se constată că o teorie elaborată convingător contrazice datele nou apărute, se produce un salt în știință. Misiunea experimentatorilor este nu numai verificarea teoriei, ci și căutarea faptelor care pot s-o contrazică.

La fel fac și măturătorii de stradă cu băltoacele. Deși apa trece printre nuielele măturii, după cîteva repetări ale mișcării, nu mai rămîne din apă nici urmă.

Cum se nasc și cum se dezvoltă teoriile? Iată istoria uneia dintre ele, legea atracției universale.

Ideea că forța care obligă planetele să rămînă pe traiectorie în jurul Soarelui și forța care determină căderea mărului au aceeași natură a fost exprimată de mulți învățați și filo-

sofi. Legenda despre căderea mărului care i-ar fi inspirat lui Newton ideea universalității gravitației este naivă — această idee circula pe atunci sub diverse forme. Cu mulți ani înainte de Newton, Johannes Kepler a încercat să arate că, sub influența forței de atracție a Soarelui, planetele se mișcă pe niște elipse.

De ce totuși legea atracției universale se numește „legea lui Newton". Este oare drept?

Orice idee generală capătă valoare numai dacă este confirmată de dovezi științifice, iar cinstea descoperirii aparține acelora care au contribuit la transformarea ideii într-un adevăr demonstrat. Cît de des uită aceasta inventatorii ideilor generale!

În scrierile vechi, cu caracter metaforic și echivoc, se poate întrezări ideea expansiunii Universului, fundamentată științific abia în secolul al XX-lea și confirmată în mod strălucit o dată cu descoperirea radiației de fond relicte. A avut ideea antică vreun fel de valoare științifică, a influențat ea oare apariția teoriei gravitației a lui Einstein? Desigur că nu. În mulțimea afirmațiilor tulburi și întîmplătoare putem surprinde un amănunt care se va confirma prin dezvoltarea ulterioară a științei.

Newton a fost primul fizician care a transformat ideea generală a gravitației universale într-o teorie fizică pe care experimentul a confirmat-o.

În ce a constat problema? Trebuia explicat de ce planetele se mișcă după niște elipse care au focarul în Soare și de ce cuburile razelor orbitelor sînt proporționale cu pătratele perioadelor de revoluție. Aceste relații — „legile lui Kepler" — au fost găsite prin analiza observațiilor astronomice și au rămas neexplicate ani îndelungați. Newton a demonstrat că aceste legi sînt consecințele care decurg din presupunerea că între două mase acționează o forță proporțională cu produsul maselor și invers proporțională cu pătratul distanței dintre ele.

Dar chiar și după introducerea forței gravitaționale, pentru a obține o explicație cantitativă a mișcării planetelor, a fost nevoie să se înlăture o mulțime de dificultăți matematice colosale pentru vremea aceea.

Pe lîngă traiectoriile eliptice ale planetelor, teoria a explicat și micile abateri de la această lege de mișcare, provocate de influența corpurilor cerești învecinate. Newton a calculat perturbațiile mișcării Lunii sub influența Soarelui și a formulat teoria mareelor, pe care a explicat-o prin atracția lunară.

Pentru toate acestea, Newton a trebuit să presupună că legile mecanicii, găsite de Galilei pentru corpurile de masă mică și deplasîndu-se cu viteze mici, sînt aplicabile și corpurilor cerești. Ipoteza s-a confirmat cu o mare precizie, prin nenumărate comparații ale predicțiunilor teoriei gravitației cu experimentul.

În 1687 a apărut cartea lui Newton *Principiile matematice ale filosofiei naturale*. Acest eveniment poate fi considerat începutul fizicii teoretice.

Newton, ca și mulți alți oameni de știință ai vremii sale, a încercat să explice gravitația prin mișcările eterului. Dar încercările lui s-au soldat cu un eșec; a fost nevoie de peste 200 de ani de dezvoltare a fizicii și matematicii pentru ca să devină posibilă apariția teoriei lui Einstein care leagă gravitația de proprietățile geometrice ale spațiului. Conform acestei teorii, legile mecanicii obișnuite sînt încălcate în vecinătatea corpurilor masive și la viteze mari. Una dintre predicțiunile noii teorii a gravitației a fost amintită mai înainte — este vorba despre mișcarea orbitei lui Mercur. Experiențele au confirmat și multe alte consecințe ale teoriei.

Alegerea direcției

Spre deosebire de matematică, în științele experimentale, legile sînt corecte numai cu o anumită probabilitate sau cu o anumită precizie. Dacă o relație este bine verificată de experiență, atunci probabilitatea abaterii de la ea este infimă, iar legea poate fi considerată sigură. Prin ceva sigur înțelegem întotdeauna o afirmație a cărei corectitudine are o probabilitate apropiată de unu.

Atunci cînd spunem că un adevăr bine stabilit se deosebește de eroare, am putea adăuga „cu o probabilitate covîrșitoare". Dar ar trebui să repetăm cuvintele respective prea des. Afirmînd că „și mîine va fi o zi", ar trebui să adăugăm... „dacă, desigur, Pămîntul nu se va ciocni cu un corp ceresc, sau dacă nu va fi făcut bucățele de extratereștrii care în ultima vreme s-au înmulțit cam repede". Probabilitatea ca o locomotivă să deraieze ca urmare a unei lovituri coerente primite de la molecule este comparabilă cu probabilitatea evenimentului despre care amintea Smoluchowski. Noi nici nu luăm în seamă așa ceva și ne ocupăm liniștiți locurile în vagon.

Bunul simț din viața de zi cu zi se conduce după o apreciere rezonabilă a probabilității diverselor evenimente.

„Calculatorul nostru psihologic" — intuiția — ia în considerație toate motivele posibile, condițiile și urmările acțiunilor întreprinse. Înainte de a mîngîia un cîine necunoscut, noi îi apreciem dispoziția, mărimea și greutatea, sîntem atenți să-i observăm urechile, dacă sînt ridicate sau nu, dacă dă din coadă sau dacă se ține încordat și acționăm în funcție de aceste aprecieri, astfel încît pericolul de a fi mușcați se reduce la numai 10—20 de procente.

Zărind într-un gang o persoană care nu se ține bine pe picioare, facem iarăși un calcul rapid estimîndu-i starea, instabilitatea echilibrului și, dacă ne pricepem cît de cît, putem determina pînă și ce anume a băut, șampanie sau băutura suspectă vîndută sub numele de „toamna aurie". După toate acestea, ne căutăm un alt drum, sau trecem liniștiți pe alături.

Cînd mergem la piață și-l vedem pe vînzător mînuind neglijent greutățile și talerele strîmbe ale cîntarului improvizat, trebuie să facem măcar o apreciere aproximativă a cantității și a costului cumpărăturii.

Într-un caz, „calculatorul" ne poate salva viața, în celălalt, ne ferește de procedeele necinstite.

Bunul simț și intuiția determină alegerea direcției căutărilor. Înainte de a căuta în gunoi, trebuie apreciat de cît timp este nevoie și care sînt șansele de a găsi acolo un mărgăritar. Tocmai de aceea atît de puțini oameni de știință autentici se ocupă de fenomene atît de improbabile cum ar fi telepatia. Este lipsit de rațiune să depui eforturi mari, dacă, apreciind intuitiv probabilitatea succesului, valoarea obținută este infimă. Pînă acum nu există indicii teoretice sau experimentale, cît de cît convingătoare pentru omul de știință, în favoarea existenței telepatiei. Altfel, după primul rezultat științific, în acest domeniu s-ar fi concentrat forțe imense. Așa trebuie să se dezvolte știința. În mod intenționat trecem alături de locurile unde s-ar putea eventual afla comori și ne îndreptăm spre locurile unde, după aprecierea noastră, probabilitatea unei descoperiri este mai mare. Altminteri, nu ne-ar ajunge forțele pentru progres.

Aprecierea intuitivă a probabilității succesului este întotdeauna subiectivă și necesită multă experiență științifică. Pînă acum, nu s-a reușit să se găsească, din păcate, nimic mai bun pentru alegerea unei direcții rezonabile de cerce-

tare decît conferințele științifice, seminariile și discuțiile cu specialiștii.

Iată pe scurt o concluzie a discuției noastre despre metoda științifică de cercetare. Schema cunoașterii științifice ar fi următoarea: experimentul, presupunerile de plauzibilitate, ipotezele, teoria — experimentul — precizarea, verificarea limitelor de aplicabilitate ale teoriei, apariția paradoxurilor, teoria, intuiția — inspirația — saltul — noile ipoteze și noua teorie și iarăși experimentul...

Metoda științifică la baza căreia stau obiectivitatea, reproductibilitatea și deschiderea față de nou, constituie o mare cucerire a rațiunii umane. Această metodă s-a dezvoltat și s-a perfecționat și, din condiția de pierdere minimă de timp și de idei, a fost aleasă ca fiind cea mai rațională. De peste trei secole, cercetarea folosește metoda științifică de cunoaștere și în acest fel nu s-a pierdut nici un filon de adevăr.

Riscul de neînlăturat al oricărei dezvoltări este eroarea, dar metoda științifică de cunoaștere îi conferă științei stabilitate, astfel încît erorile sînt repede înlăturate cu forțele științei însăși.

Criticii metodei științifice obișnuiesc să citeze exemple istorice de erori și dau rețete pentru evitarea lor. Ei sînt ca soția din anecdotele din Odessa: „Aș vrea să am mintea cea de pe urmă a neveste-mi".

Instrumentele cunoașterii

...frumusețea nu este capriciul unui semizeu,
Ci măsura din ochi furată de un simplu tîmplar.

O. Mandelștam

Care sînt instrumentele necesare științei în procesul cunoașterii? Se înțelege că, înainte de toate, bunul simț și legile logicii. Dar, în afară de metodele care decurg din acestea, comune tuturor sferelor de activitate, științele naturii au dezvoltat și verificat în practică principii care permit evitarea greșelilor și scurtarea timpului pe drumul către adevăr. Despre unele dintre ele am amintit; vom insista acum asupra lor.

Conform principiului cauzalității, întotdeauna cauza precede efectul. După cum vom vedea, cauzalitatea fenomenelor fizice poate fi realmente verificată experimental.

Orice teorie trebuie să satisfacă principiul corespondenței: ea trebuie să treacă în teoria anterioară, mai puțin generală, dacă sînt valabile condițiile în care a fost stabilită teoria anterioară. Principiul corespondenței reflectă continuitatea științei despre care am vorbit în paragraful precedent.

Principiul observabilității, care a jucat un rol atît de important în dezvoltarea fizicii secolului al XX-lea cere ca în știință să se introducă numai acele afirmații care pot fi supuse unui experiment, fie și numai mental, sau fie și numai în principiu. De altfel, după cum vom vedea, principiul observabilității nu poate fi aplicat fără anumite rezerve.

În perioada grea a începuturilor mecanicii cuantice, perioadă a disputelor chinuitoare, provocate de contradicția dintre caracterul probabilist al predicțiunilor noii teorii și cauzalitatea univocă a fizicii clasice, Niels Bohr a introdus principiul complementarității, conform căruia anumite noțiuni sînt reciproc incompatibile și trebuie deci să fie interpretate numai prin prisma completării reciproce. De exemplu, măsurarea coordonatelor unei particule face ca noțiunea de viteză să devină nedeterminată. Ideea complementarității permite să se înțeleagă și să se concilieze diferite entități contradictorii, cum ar fi legitățile fizice și dezvoltarea direcționată a obiectelor vii.

Un dicton spune: „Natura non facit saltus" (Natura nu face salturi). Aceasta înseamnă că mărimile care se întîlnesc în natură sînt funcții continue de alte mărimi. Salturile întîlnite în teorii sînt rezultatul idealizării raționale a proceselor; de fapt, salturile, chiar și cele mici sînt, într-o măsură oarecare, atenuate. Un întreg domeniu din fizica teoretică, care se ocupă de studierea așa-numitelor „proprietăți analitice" ale mărimilor fizice, este legat de acest caracter al funcțiilor fizice.

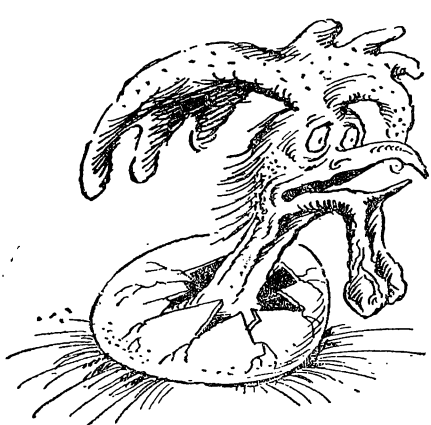
Așa cum vom vedea, claritatea este și ea o caracteristică necesară a teoriei științifice. În fizică claritatea se exprimă cu simetria legilor naturii, ca de exemplu, invariabilitatea ecuațiilor electrodinamicii la trecerea lor într-un sistem de coordonate aflat în mișcare, sau la schimbarea semnului timpului. Vom consacra proprietăților de simetrie un întreg capitol; vom vedea că fiecărui tip de simetrie îi corespunde o lege proprie de conservare.

Legile de conservare ne dau posibilitatea să verificăm corectitudinea rezultatelor. Este suficient să stabilim că în teoria propusă se încalcă o simetrie bine stabilită și acest fapt devine sursa unor îndoieli justificate în ceea ce privește corectitudinea teoriei. Astfel, legea conservării energiei, care este o consecință a omogenității timpului, reprezintă o proprietate generală a naturii, foarte bine verificată experimental. Atunci cînd ne confruntăm cu o încălcare a legii conservării energiei în vreo construcție teoretică, aceasta din urmă este considerată eronată. Astfel de judecăți i-au permis Academiei franceze să decidă respingerea fără examinare a oricărui proiect de „perpetuum mobile". În capitolul următor, în paragraful *Secretele meseriei*, vom vedea că, folosind legile simetriei, se poate descoperi dintr-o dată greșeala de raționament.

Să examinăm mai atent principiile cauzalității, observabilității și complementarității.

Ce-a fost mai întîi, oul sau găina?

Ce a fost întîi, cauza sau efectul? Experiența de fiecare zi ne oferă un răspuns univoc la această întrebare, dar putem să dăm crezare acestei experiențe? Cum se poate face o verificare serioasă? Oricît ar părea de ciudat la prima vedere, îndoiala este legitimă și verificarea se poate face. Într-adevăr, cauza precede efectul. Dar la întrebarea din titlu nu se poate răspunde.



Dacă lumina este difuzată de un corp oarecare, unda difuzată este produsă de unda incidentă. Dacă unda incidentă are forma unui scurt impuls, atunci și unda difuzată are o formă asemănătoare. Dacă există cauzalitate, atunci efectul trebuie să se manifeste după cauză, iar frontul undei difuzate trebuie să fie deplasat față de frontul incident. De aici, printr-un raționament riguros matematic, se deduce că intensitatea undei difuzate trebuie să fie legată printr-o relație simplă de capacitatea de absorbție a corpului respectiv. O astfel de legătură se numește „relație de dispersie". În loc de a verifica deplasarea frontului de undă, se poate controla modul în care este satisfăcută relația de dispersie. Și această legătură s-a demonstrat experimental. În limitele erorilor experimentale, nu s-a decelat nici o încălcare a cauzalității: întotdeauna efectul a apărut după cauză. Faptul că verificarea s-a putut efectua demonstrează legitimitatea logică a îndoielii. Fiecare afirmație cu conținut semnificativ poate fi confirmată sau respinsă, în această verificare constînd valoarea ei cognitivă. Numai adevărurile elementare nu necesită verificări.

Mai există o verificare, la prima vedere inutilă. Dacă un eveniment duce, cu anumite probabilități, la mai multe consecințe, atunci suma tuturor probabilităților trebuie să fie egală cu unu, ceea ce înseamnă că un fenomen tot trebuie să se producă. În mecanica cuantică, situația de mai sus se prezintă ceva mai complicat. Acolo se însumează nu probabilitățile, ci amplitudinile funcției de undă, al căror pătrat dă probabilitatea. În general, se însumează rădăcinile pătrate ale probabilităților. Dar și în acest caz trebuie să se respecte cerința ca probabilitatea tuturor evenimentelor să fie egală cu unitatea. De aici decurge o relație determinată între mărimile observabile, care se poate verifica experimental. Această relație se numește „unitaritate". Dacă cerința unitarității ar fi încălcată, ar rezulta fie inconsistența teoriei, fie necesitatea adîncirii noțiunii de probabilitate. Dar, pînă acum n-am fost confruntați niciodată cu încălcarea unitarității.

Să nu violentăm natura, ci s-o întrebăm

Pericolul folosirii unor noțiuni preluate necritic, bazate numai pe experiența cotidiană, devenise clar încă pentru Galilei, care, în „*Dialog*" îndeamnă la „mai puțină încre-

dere în ceea ce ne oferă la prima vedere simțurile, care ne pot ușor induce în eroare... Este mai bine... să încercăm sau să confirmăm o presupunere, sau să-i dezvăluim caracterul înșelător".

La începutul secolului al XX-lea, acest îndemn s-a transformat în cerința observabilității noțiunilor introduse în fizică. În 1905, formulînd teoria relativității, Einstein a început prin a analiza conceptul de simultaneitate. Această noțiune fusese introdusă în știință în mod intuitiv, fără să se fi indicat, fie și numai în principiu, vreun mijloc posibil de verificare. Einstein și-a propus să clarifice dacă noțiunea de simultaneitate este relativă, adică dacă se modifică prin trecerea la un sistem mobil de coordonate. Coincid oare noțiunile de simultaneitate pentru doi observatori, unul aflat în repaus față de Pămînt, și altul mișcîndu-se uniform față de primul?

Pentru a răspunde la această întrebare, trebuia indicat un mijloc de definire fizică a simultaneității. Einstein a propus următorul experiment: două semnale luminoase emise în punctele A și B se consideră simultane, dacă lumina ajunge simultan într-un punct situat la jumătatea distanței dintre A și B. Din această definiție rezultă că evenimentele simultane pentru un observator nemișcat nu sînt simultane pentru un observator care se mișcă în raport cu platforma pe care sînt fixate punctele A și B. Într-adevăr, să presupunem că

platforma se mișcă față de noi în sensul de la A spre B. Dacă în punctul de la jumătatea distanței dintre A și B, ambele semnale s-au recepționat simultan, atunci observatorul de pe platformă va spune că semnalele din A și B au fost simultane, în timp ce observatorul imobil va considera că unul dintre semnale a fost emis mai tîrziu, întrucît punctul din mijloc se mișcă în întîmpinarea luminii, iar semnalul din B trebuie să parcurgă pînă la punctul din mijloc o distanță mai scurtă decît cel din A.

Așadar, simultaneitatea este o noțiune relativă. Dar dacă lucrurile stau astfel, lungimea unei bare devine relativă, întrucît pentru a o măsura, este nevoie să se stabilească în mod simultan pozițiile capetelor barei. Atunci cînd măsurătoarea va fi efectuată de un fizician care se află pe platformă, observatorul nemișcat va vedea că fizicianul nu măsoară simultan cele două capete ale barei. Valoarea lungimii găsite de observatorul imobil se va deosebi deci de valoarea determinată de observatorul mobil.

În esență, întreaga teorie a relativității restrînse apare ca rezultat al aplicării consecvente a principiului observabilității. Unica presupunere pe care se bazează deducțiile este independența vitezei luminii față de deplasarea sursei, dar acest principiu decurge din ecuațiile lui Maxwell și a fost verificat experimental cu mare precizie de Albert Michelson în 1881. Niște calcule algebrice simple l-au dus pe Einstein la explicarea contracției lorentziene: un obiect de lungime l_0 care se deplasează cu viteza v se scurtează pe direcția mișcării în raportul $l = l_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}$, unde l_0 este lungimea de repaus. La Lorentz această contracție se obținea dintr-un calcul complicat al forțelor electrodinamice care acționează între două sarcini electrice aflate în mișcare, dar rezultatul lui Einstein este general și independent de constituția corpurilor, fiind un rezultat al proprietăților spațiului și timpului, comune tuturor fenomenelor. Într-un mod analog, în sistemele de referință aflate în mișcare, intervalul de timp t se lungește în raport cu intervalul t_0 dintre aceleași evenimente, măsurate în sistemul aflat în repaus, după formula $t = t_0/\sqrt{1 - v^2/c^2}$. Această formulă a fost verificată experimental cu o mare precizie. Timpul de viață al pionului care se deplasează cu viteză mare este mai mare decît timpul de viață al pionului aflat în repaus.

În cazul corpurilor care se mișcă cu viteză mai mică decît cea a luminii, corecțiile aduse de aceste relații sînt infime.

Din formulele de mai sus se vede că viteza corpurilor materiale nu poate depăși viteza luminii.

În mecanica newtoniană se consideră că timpul curge uniform pentru toți observatorii. Legătura dintre coordonatele și timpul dintr-un sistem mobil și aceleași mărimi dintr-un sistem aflat în repaus era $x' = x + vt$ și $t' = t$. Această relație trebuie acum schimbată; ea arată astfel: $x' = \gamma(x' + vt)$, unde γ este un coeficient care tinde spre unu atunci cînd viteza este mică. Întrucît observatorii se deosebesc unul față de altul numai prin semnul vitezei, atunci mai există și relația: $x = \gamma \cdot (x' - vt')$. Mărimea γ se obține dintr-o dată, punînd condiția ca viteza luminii să fie aceeași în ambele sisteme, ceea ce înseamnă că, la $x = ct$, să obținem $x' = ct'$. De aici rezultă imediat $\gamma = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2}$ și, în afară de aceasta, tot de aici, mai rezultă și relațiile pentru contracția lungimilor și dilatarea timpului prezentate mai sus. Le propun cititorilor să obțină și ei aceste rezultate.

Deseori se spune că toate lucrurile geniale sînt simple. Din păcate, această afirmație nu-i nici pe departe adevărată. Teoria relativității restrînse este singura dintre teoriile secolului al XX-lea care are un arsenal de mijloace tehnice simple. Toate dificultățile rezidă în ideea de bază. Teoriile ulterioare nu numai că sînt complicate ca idee, ci necesită pentru formularea lor și un aparat matematic complicat. Astfel, teoria relativității generale, mecanica cuantică, electrodinamica cuantică și teoria particulelor elementare nu pot fi date drept exemplificări ale ideii că „toate lucrurile geniale sînt simple".

Principiul observabilității a jucat un rol enorm în apariția mecanicii cuantice, și mai ales în analiza sensului ei fizic. Werner Heisenberg a supus verificării observabilitatea unor noțiuni cum ar fi coordonata și viteza, elaborînd experimente mentale care folosesc la definiția fiecăruia. S-a clarificat faptul că este principal imposibil să se măsoare simultan exact coordonatele și viteza: orice act imaginabil de măsurare a coordonatei are un efect imprevizibil și face ca valoarea impulsului particulei să devină nedeterminată (vezi p. 173).

Se poate oare pretinde ca în știință să se opereze numai cu mărimi direct observabile? În 1925, la formularea mecanicii matriciale, Heisenberg a adoptat un astfel de principiu. O altă cale este mecanica ondulatorie a lui Schrödinger (1925), în cadrul căreia o asemenea problemă nu există. În teorie s-a introdus funcția de undă, imposibil de măsurat direct din experiment și care conține chiar caracteristici

nemăsurabile. În 1926, Erwin Schrödinger a demonstrat echivalența celor două formulări ale mecanicii cuantice. Mai mult, formularea lui Schrödinger s-a dovedit mult mai comodă. O situație asemănătoare existase și în fizica clasică: ecuațiile electrodinamicii se rezolvă mai ușor dacă se introduce potențialul-vector, mărime care nu se poate măsura experimental.

Dezvoltarea ulterioară a fizicii teoretice a demonstrat avantajul principial al unei oarecare libertăți în introducerea noțiunilor.

Este instructivă istoria așa-numitei matrice S (matricea de difuzie). Matricea S, propusă de Heisenberg în 1943, reprezintă un mijloc de a scrie în formă compactă toate rezultatele experimentelor posibile pentru studierea unui sistem. Pentru descrierea unui sistem fizic este necesar să se afle amplitudinile de împrăștiere ale tuturor particulelor posibile care interacționează cu sistemul. Toate amplitudinile sînt conținute în matricea S, astfel încît introducerea noii noțiuni a permis să se obțină multe relații importante. Succesul metodei matricei S a dus în anii '50 la ideea scrierii unor ecuații pentru matricea de difuzie, care să lege între ele toate amplitudinile de difuzie posibile, elaborîndu-se astfel teoria particulelor elementare fără vreun apel la structura lor internă, ci doar legînd nemijlocit între ele toate datele experimentului.

Dacă este permis să se folosească epitetul de „dăunătoare" pentru o idee fizică aparent rațională, atunci, în cazul de față calificativul este la locul lui. Această idee i-a abătut pe mulți oameni talentați de la direcții mult mai productive. De fapt, stagnările sînt inevitabile, întrucît știința nu se dezvoltă în linie dreaptă.

Deoarece matricea S se ocupă numai de comportarea particulelor aflate la distanță mare una de cealaltă, unde pot fi observate numai izolat, se subînțelege că ea nu poate pune în evidență astfel de particule cum sînt quarcii (vezi p. 149), care nu există niciodată în stare izolată.

Dar, fără a pătrunde în mecanismul interacțiunii particulelor elementare și al cîmpurilor la distanțe mici, este imposibil să se construiască o teorie rațională. Din acest motiv, încercarea de a construi un sistem complet de ecuații pentru matricea de împrăștiere a eșuat. Succesele recente ale teoriei particulelor elementare se sprijină pe teoria cuantică a cîmpului, care studiază interacțiunea cîmpurilor și particu-

lelor atît la distanțe mici, cît și la distanțe mari, fără a face apel la matricea S.

Cerința observabilității, urmată „ad litteram", s-a dovedit prea restrictivă pentru fizica zilelor noastre.

„Numai deplinul naște claritatea, dar adevărul se ascunde în întuneric" (Fr. Schiller)

După cum povestește Leon Rosenfeld, care i-a fost colaborator apropiat, Niels Bohr a fost influențat de filosoful și scriitorul danez, Sören Kirkegaard. Poate că aici se află sursa acelei forme neașteptate de dialectică atît de caracteristică lui Niels Bohr. El obișnuia să spună: „Fiecare judecată emisă de mine trebuie înțeleasă nu ca o afirmație, ci mai ales ca o întrebare". Sau „Există două tipuri de adevăruri: unul elementar, pe care este stupid să-l contrazici și altul, profund, pentru care afirmația opusă este și ea un adevăr profund". Această idee se poate formula mai puțin categoric: conținutul unei afirmații se verifică prin faptul că aceasta poate fi respinsă.

Principiul complementarității, la care ne vom referi acum reprezintă apogeul dialecticii lui Bohr.

La începutul anului 1927, s-au petrecut două evenimente importante: Werner Heisenberg a obținut relațiile de incertitudine, iar Niels Bohr a formulat principiul complementarității.

Analizînd toate experimentele mentale posibile de măsurare a coordonatelor și vitezei particulelor, Heisenberg a ajuns la concluzia că măsurarea lor simultană este limitată și anume: cu cît măsurăm mai exact coordonata electronului (iradiindu-l, de exemplu cu lumină avînd lungimi scurte de undă) cu atît mai puțin determinată devine viteza lui, din cauza reculului nedeterminat pe care îl suferă electronul la interacțiunea sa cu unda. Formula obținută de Heisenberg este atît de simplă, încît poate fi reprodusă aici: $\triangle q \triangle p \geqslant \geqslant h$. În partea dreaptă se află constanta lui Planck, iar în stînga, nedeterminarea coordonatei, înmulțită cu nedeterminarea impulsului particulei. N-am folosit aici întîmplător cuvîntul „nedeterminare". Nu-i vorba nici de greșeală, nici de neștiință, ci exact de nedeterminare. Conform principiului observabilității, imposibilitatea principială a măsurării are drept consecință nedeterminarea noțiunii respective.

Determinarea exactă a coordonatei face impulsul complet nedeterminat. Aceste două noțiuni se limitează și se completează reciproc. După Bohr, relația de nedeterminare a lui Heisenberg este o manifestare a principiului complementarității (vezi p. 173).

Ca orice judecată foarte generală, cuvintele lui Hegel despre unitatea și lupta contrariilor pot să ni se pară locuri comune din cauza repetării lor foarte frecvente. Ideea lui Bohr cu privire la noțiunile complementare reprezintă o nouă aplicare a gîndirii hegeliene. Complementaritatea permite să se împace lucruri aparent ireconciliabile: electronul se comportă în diferite experimente fie ca particulă, fie ca undă.

Particula și unda, iată două laturi complementare ale unei singure entități. Nu se poate evidenția vreuna dintre aceste două caracteristici în dauna celeilalte. Mecanica cuantică realizează sinteza acestor două noțiuni, întrucît ea permite precizarea rezultatului oricărui experiment în care se manifestă atît proprietățile corpusculare, cît și cele ondulatorii ale particulelor.

Niels Bohr a ilustrat și a aplicat ideea complementarității în multe domenii.

Legitățile biologice se reduc oare la procesele fizico-chimice? S-ar părea că toate procesele biologice sînt determinate de mișcarea particulelor care alcătuiesc materia vie. Conform acestei concepții „fiziologia este de fapt chimia fizică a coloizilor cu conținut de azot". Dar este clar că această concepție denumită deseori „mecanicistă", reflectă numai o latură a problemei. Cealaltă latură, mai importantă, este reprezentată de legitățile materiei vii, care, deși sînt determinate de legile fizicii și ale chimiei, nu se reduc la acestea din urmă. Procesele biologice se caracterizează prin finalitate. Această legitate răspunde la întrebarea „în ce scop", în timp ce fizica răspunde la întrebarea „de ce?"

Există și o altă extremă: vitaliștii consideră esențiale numai legitățile biologice, negînd și ignorînd latura fizico-chimică a proceselor. Înțelegerea corectă a biologiei este posibilă numai pe baza complementarității cauzalității fizico-chimice și a finalității biologice obiective. După opinia lui J. Holton, Niels Bohr, gîndind la aceste lucruri, și-ar fi îndeplinit o datorie filială: tatăl său, fiziologul Christian Bohr susținuse punctul de vedere vitalist. Noțiunea de complementaritate pune în evidență unilateralitatea ambelor puncte

de vedere și permite construirea unei imagini a proceselor vii pe baza unor abordări care se completează reciproc.

O descriere completă a naturii este posibilă numai pe baza înțelegerii complementarității noțiunilor. Se pot da multe exemple de complementaritate. Astfel, tabloul fizic al unui fenomen și descrierea lui matematică sînt complementare. Alcătuirea tabloului fizic cere neglijarea detaliilor și se depărtează de precizia matematică. Și invers — încercarea de a descrie matematic exact fenomenele îngreunează înțelegerea lor.

Iată încă un exemplu. În articolul *Miturile popoarelor lumii* din enciclopedie, S. Averințev scrie „Satana se împotrivește lui Dumnezeu... ca o creație eșuată a Domnului și ca un subiect răzvrătit contra puterii sale; el poate să-i opună cel mult forța obținută de la creatorul său, contribuind la urma urmei, împotriva propriei voințe, la împlinirea gîndului divin...“ Mefisto al lui Goethe spune: „Eu sînt cel ce veșnic dorește răul și care veșnic face doar binele“.

Bohr a afirmat cîndva: „Nu se poate privi simultan și cu ochii iubirii și cu ochii dreptății“, frază prin care înțelegea că nu era capabil să-și pedepsească fiul, care făcuse o greșeală. La întrebarea: „Care este complementarul noțiunii de adevăr?“, Bohr a răspuns: „Claritatea“.

Acesta este și înțelesul cuvintelor lui Schiller care au fost alese drept motto.

Erorile

Prefer adevărul dăunător greșelii folositoare, căci adevărul îndreaptă singur răul pe care l-a pricinuit.

J. W. Goethe

Cînd un sistem de erori este prezentat sub forma unei teorii științifice, sistemul respectiv este denumit pseudoștiință. Din păcate, acest cuvînt a fost deseori întrebuințat de pseudosavanții care ponegreau cuceriri științifice autentice, și care au încercat să lipească eticheta de pseudoștiință ciberneticii, biologiei moleculare, geneticii sau teoriei relati-

vitații, dar cum alt cuvînt n-a fost încă născocit — vrem, nu vrem — trebuie să-l folosim și noi.

Cum se poate stabili care este știința și care este pseudoștiința, mai ales atunci cînd adevărurile sînt încă incomplet fundamentate? Căci adevărul este unul singur, iar erorile sînt nenumărate. O clasificare a tuturor tipurilor de pseudoștiință este dificilă și lipsită de interes, de aceea ajunge să-i trasăm o linie de demarcație față de știință și să îi enumerăm caracteristicile.

„Neștiința nu-i o dovadă, ignoranța nu-i un argument". (Spinoza)

Ce este pseudoștiința? Tot ceea ce contrazice reprezentările științei de astăzi este pseudoștiință? Nicidecum! Tocmai lucrările care demonstrează convingător caracterul contradictoriu al modelelor curent adoptate pot duce la o revoluție științifică. Lucrările de acest tip, chiar nefinisate, provoacă discuții și incită la continuarea cercetărilor.

Astfel, legea simetriei la reflexie a fenomenelor naturale a fost confirmată de multe experimente și a intrat în mod ferm în reprezentările fizicienilor. Experimentele pentru verificarea acestei legi, presupusă exactă, n-au fost, desigur, nici un moment considerate ca ținînd de pseudoștiință, iar ca urmare, a fost făcută o descoperire de cea mai mare importanță: s-a constatat că în dezintegrarea beta legea simetriei la reflexie este încălcată.

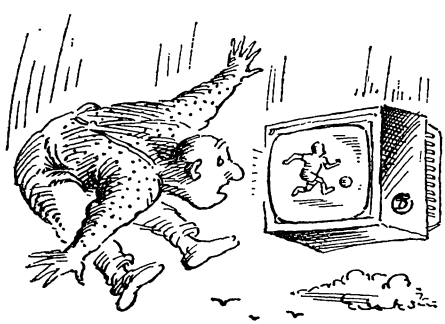
Trebuie oare considerate pseudoștiințifice lucrările bazate pe presupuneri care, în urma unor cercetări ulterioare, se dovedesc nefondate? Desigur că nu. Confirmarea presupunerilor nu constituie unicul criteriu al valorii științifice. Și rezultatul negativ oferă o informație importantă — prin faptul că elimină una dintre posibilități.

Pseudoștiința este încercarea de a demonstra o afirmație folosind metode neștiințifice, procedeul cel mai frecvent fiind emiterea de concluzii dintr-un singur experiment nerepetabil și echivoc, sau edificarea de teorii bazate pe presupuneri care contravin unor fapte bine stabilite.

Cum pot fi calificate lucrările științifice neterminate, care nu stabilesc adevărul, ci doar îl sugerează? Ele necesită, în continuare, o verificare cu metode științifice. Dacă o astfel de verificare nu are loc și lucrarea este comunicată ca o cercetare încheiată, ea poate fi calificată pseudoștiințifică.

Neînțelegerea faptului că rezultatul științific se dobîndește numai printr-un proces chinuitor de creație, exagerarea valorii lucrărilor neterminate, tendința de a înlocui cu presupuneri ceea ce nu a fost finalizat — toate acestea duc în cele din urmă la pseudoștiință.

Aristotel a afirmat că obiectele grele cad mai repede decît cele ușoare. El considera că acest lucru este evident și deci nu trebuie demonstrat. Autoritatea sa era atît de mare, încît au trebuit să treacă mai mult de cincisprezece secole pînă cînd această afirmație să fie respinsă. Analizînd experimentele făcute cu planul înclinat, Galilei a ajuns la concluzia că toate corpurile terestre cad cu aceeași accelerație. Experimentele care îl contraziceau pe Aristotel constituiau nu numai un act de curaj științific, dar și un act de curaj civic, întrucît autoritatea lui Aristotel era apărată de către Biserică. Experimentul a devenit însă arbitrul definitiv al adevărului.



Cînd naturii i se impun idei speculative se fac erori. Acesta este unul din rarele cazuri în care știința se interferează cu pseudoștiința. De obicei însă lucrurile se petrec mai simplu și mai brutal: o idee vagă este proclamată drept adevăr stabil, fenomenele care o contrazic sînt trecute sub tăcere, iar toate dovezile favorabile sînt trîmbițate cu ostentație.

Redau descrierea unui experiment dintr-o lucrare care demonstrează apariția spontană a vieții. Experimentul respectiv a fost ridicat de pseudosavanți la rangul de descoperire de nivel mondial: „20 de hidre au fost pisate în mojar, apoi în pasta obținută au fost adăugate 8 picături de apă de robinet, saturată cu ajutorul unui curent de aer... După o

oră, au apărut puncte strălucitoare, de mărimea unui vîrf de ac... din care s-au dezvoltat corpusculi sferici — coacervatele... Comportarea sferulelor și dezvoltarea lor demonstrează o activitate tipică vieții. Ele sînt vii". Comentariile sînt inutile.

Iată încă un exemplu, luat, din păcate, dintr-o revistă de popularizare a științei: ...„acum trei sute de ani fizica era dedusă cu predilecție din biologie (se considera, de exemplu, că un cristal crește dintr-o sămînță)[12]. Asistăm astăzi la o renaștere a acestui mod de gîndire: unii dintre fizicieni vorbesc acum despre parapsihologia atomilor".

După cîte știu, nici un fizician cu psihicul normal, și care se ocupă de știință, nu vorbește nici despre parapsihologia atomului, nici despre sexualitatea moleculelor biatomice și nici despre schizofrenia nucleelor care se dezintegrează.

Discuțiile despre transformarea unei pseudoștiințe în știință și invers apar din cauza confuziei dintre noțiuni; eticheta de pseudoștiință se pune fie erorilor, fie căutărilor de fenomene neașteptate. Erorile sînt de neînlăturat în știință, dar ele singure nu generează pseudoștiință, după cum nici căutările eșuate ale lucrurilor ieșite din comun nu duc la pseudoștiință, cu condiția ca și unele și altele să apară și să fie înlăturate în procesul cunoașterii prin metode științifice.

După definiția noastră, nici căutarea „pietrei filosofale", care transformă toate pietrele obișnuite în aur, nu se poate considera necondiționat ca fiind pseudoștiințifică, întrucît această idee nu contrazicea datele științifice ale evului mediu. Alchimiștii care efectuau experimente reproductibile contribuiau efectiv la cunoașterea naturii.

— Nu prea e de crezut să fie șoareci pe spinarea calului. Nu prea o fi de crezut — chibzui Cavalerul — dar dacă totuși s-ar rătăci vreunul... (L. Carrol)

Din păcate, există cazuri în care unii oameni de știință cu convingeri dogmatice proclamă drept pseudoștiință cercetările oneste întreprinse în căutarea unor fenomene neașteptate

[12] În anumite condiții, cristalizarea are loc numai dacă în soluție este prezentă o impuritate, sau dacă se introduce un mic cristal. — *Nota trad.*

tate, adică a unor evenimente care contrazic reprezentările obișnuite (dar nu și faptele stabilite!).

Ar fi foarte bine dacă niște experimentatori serioși ar studia fără prejudecăți un fenomen ca telepatia. Cercetați, întreprindeți experimente, dar numai experimente științifice, respectînd toate regulile adoptate de știință încă de pe timpul lui Francis Bacon. Un impuls pentru generarea ideii noi se poate obține și de la relatările martorilor, și din credințele oamenilor, și de la zvonuri, și din asociații neașteptate, dar de la idee la adevăr este o cale atît de lungă, încît din sute de idei, abia dacă va supraviețui una singură.

Se înțelege că nu ajunge numai dorința de a demonstra ceva neverosimil. Mai întîi este necesar să se formuleze clar problema de cercetat, apoi trebuie găsită și elaborată o metodă de studiu suficient de convingătoare, care să permită demonstrarea fenomenului.

În jurul organismelor vii există cîmpuri fizice: electric, luminos, sonor, care sînt destul de bine studiate. Astfel, măsurînd cîmpul electric care variază se poate obține o cardiogramă chiar fără a atinge corpul. Aceste cîmpuri scad repede la distanță, astfel încît la cîțiva metri nu se mai pot deosebi de cîmpurile întîmplătoare, de „zgomote". Cîmpurile fizice radiate de om nu pot explica fenomene cum ar fi transmiterea gîndurilor sau a reprezentărilor la distanțe mari. Nu se poate, în acest caz, presupune că în afară de cîmpurile cunoscute, există și alte cîmpuri fizice încă nedescoperite?

Toate cîmpurile cît de cît observabile din domeniile de energie și frecvență care ne interesează și care acționează asupra dispozitivelor fizice au fost exhaustiv studiate. Dacă, de exemplu, asupra unui electron dintr-un accelerator ar acționa și un alt cîmp oarecare, atunci mișcarea electronului s-ar abate de la mișcarea calculată, ceea ce în experimente nu se întîmplă niciodată. Probabilitatea de a descoperi în domeniul macroscopic un cîmp fizic de o natură nouă, încă necunoscută, este atît de mică, încît nu merită să fie luată în considerare.

Dar n-ar putea exista oare niște cîmpuri nefizice care ar fi emise și recepționate de organismele vii și care ar da dreptul la existență unui fenomen miraculos ca telepatia? Nu există oare un „biocîmp" în jurul organismelor vii? Desigur că un astfel de cîmp n-ar putea explica mișcarea prin forța spiritului a obiectelor neînsuflețite, sau micșorarea greutății lor. Aceste fenomene contrazic pur și simplu legile ferm stabilite

ale fizicii. Este clar că în nici un experiment fizic corect dorința experimentatorului n-a influențat rezultatul măsurătorilor, deși fizicienii lucrează cu obiecte extrem de ușoare și foarte mobile. Pînă și cele mai modeste capacități de a modifica greutatea ar face imposibilă o măsurătoare atît de simplă cum este cîntărirea la balanța analitică. La greutăți egale, după dorința experimentatorului, unul dintre talere ar fi atîrnat mai greu. Cum a fost posibil oare, ca fizicienii, care au măsurat forța de greutate cu o precizie de pînă la o miliardime de gram, să nu observe o încălcare grosolană a legilor gravitației? Analiza amănunțită a cîștigurilor la ruletă nu indică nici o abatere de la teoria probabilităților. Ar fi suficient ca o persoană cu calități extrasenzoriale să se ocupe un timp cu deplasarea bilei și toate calculele de probabilitate ale cîștigului s-ar dovedi incorecte.

Am lăsat deoparte cauzele pur fizice ale deplasării obiectelor ușoare, care se iau întotdeauna în considerație în experimentele fizice, spre exemplu presiunea ultrasunetelor emise de un obiect viu. Astfel de fenomene țin de biofizică și nu au nimic în comun cu lumea supranaturală care îi emoționează atît de mult pe oamenii nefamiliarizați cu științele naturii.

Existența biocîmpurilor, adică a unor cîmpuri care nu s-ar reduce la cîmpurile fizice cunoscute și care, prin urmare, nu sînt înregistrate de aparatele fizice obișnuite, este respinsă de ansamblul cunoștințelor biofizicii contemporane. Pînă în momentul de față nu există nici un fel de manifestări ale biocîmpului care să fi fost confirmate prin experimente științifice. Totuși, lucrările prin care se caută biocîmpul cu metode științifice ar constitui cercetări importante, chiar dacă s-ar solda cu un rezultat negativ. Vom examina acum procedeele pe care le folosește pseudoștiința.

„Atîrnați de undiță cîrlig-minciuna, și-nfigeți adevărul drept momeală...“ (W. Shakespeare)

Pseudoștiința are trăsături persistente, aproape imuabile. Una dintre ele este intoleranța față de dovezile cu voaloare probatorie negativă.

La aceasta trebuie adăugate pretențiile și patosul inculț. Pseudosavantul nu agreează amănuntele, el rezolvă numai problemele globale și, pe cît posibil, pe cele care desființează știința existentă. De regulă, un astfel de personaj n-a avut

niciodată lucrări modeste. El însuși n-are îndoieli, singura lui problemă fiind să-i convingă pe specialiștii obtuzi că spusele sale sînt evidente. Aproape întotdeauna, el promite aplicații practice numeroase și imediate chiar în domenii în care așa ceva este imposibil. În rest, aproape fără excepție, este vorba numai de ignoranță și antiprofesionalism, evidente oricărui specialist serios.

Și, în final, să menționăm agresivitatea.

Pentru a-și demonstra afirmațiile, pseudoștiința uzează de orice mijloace. Este posibil și chiar necesar să se protesteze împotriva aprecierii nedrepte a unei lucrări, dar, pentru influențarea opiniei publice trebuie folosite metodele acceptate de știință. Nu pot fi luate în serios plîngerile privind așazisele persecuții împotriva pseudoștiinței. În toate epocile, pseudoștiința a fost aceea care a persecutat știința și a afirma contrariul constituie o lipsă de respect față de jertfele pseudoștiinței, începînd cu Galilei.

Articolele care combat metoda științifică de cunoaștere sînt de rea-credință, agresive și pline de pretenții.

„Vrei să-ți argumentez imediat... că ai gene albe numai din cauză că biserica Ioan cel Mare are o înălțime de treizeci și cinci de stînjeni? Am să-ți argumentez limpede, exact, progresist, ba chiar cu o nuanță liberală!"[13] Așa îi striga,

[13] F. Dostoievski, *Crimă și pedeapsă*, în *Opere*, vol. 5, trad. Ștefana Velisar Teodoreanu și Isabella Dumbravă, E.L.U., 1969, — *Nota trad.*

cuprins de înflăcărare polemică, Razumihin lui Porfiri în *Crimă și pedeapsă*. Adică se poate demonstra că negru-i alb și albu-i negru? Să-l rugăm pe un Critic imaginar al metodei științifice să-și dezvăluie procedeele.

Iată un procedeu simplu și eficace: se rupe o frază dintr-un context, se golește de sens, sau i se atribuie un sens opus, devenind astfel ușor obiect al criticii. Rar se va găsi un cititor atît de meticulos încît să verifice citatele: în general se consideră că asta a făcut redactorul.

Un alt procedeu poate fi numit „apasă pe clapa vecină". În locul unei afirmații îndoielnice, se introduce alta, foarte apropiată în conținut, dar certă, creîndu-se astfel impresia că e vorba despre o discuție în contradictoriu privind lucruri indiscutabile.

De la Criticul nostru se pot auzi judecăți prin care se încearcă acreditarea valorii științifice a pseudoștiinței. Ele sună cam așa: „Ori trebuie să se renunțe la termenul de «pseudoștiință» și la termenii asemănători, ori trebuie să se recunoască pseudoștiința ca un fenomen de cultură cu aceeași valoare ca știința obișnuită, predată în școală". Nimeni nu are de obiectat la afirmația că pseudoștiința și știința adevărată, barbaria și umanismul, obscurantismul și iluminismul sînt fenomene care au dat naștere fiecare propriei sale culturi. Aceste culturi nu se află însă pe picior de egalitate!

Iată și procedeul preferat al Criticului: într-un pătrat alb se pot găsi puncte negre, iar într-unul negru, puncte albe. De aceea, trebuie renunțat la opoziția dintre alb și negru, și recunoscut că sînt identice. În acest fel se încearcă stabilirea egalității dintre pseudoștiință și știință. Demonstrația începe cu afirmația: „Printre rădăcinile istorice ale oricărei științe se găsește întotdeauna un sîmbure de pseudoștiință"... și așa mai departe.

Cîteodată Criticul se apucă însă de o treabă care-i depășește forțele, și anume, să demonstreze că reproductibilitatea experimentului nu este obligatorie. În acest scop, cerința reproductibilității rezultatelor este înlocuită cu cerința repetabilității obiectelor cercetării. Întrucît precesia orbitei lui Mercur s-a studiat numai cu planeta Mercur, experimentul este nerepetabil, afirmă „criticul". Se trece sub tăcere faptul că nu-i nevoie de zece planete Mercur, ci de zece observații științifice ale unicului și irepetabilului Mercur!

„Așa după cum afirmă biologii chibzuiți", continuă Criticul, „organismele sînt infinit de diverse; din acest motiv nu se poate pretinde reproductibilitatea experimentului

biologic". Dar însăși asemănarea obiectelor biologice „infinit de diverse" permite efectuarea de experimente reproductibile și face din biologie o știință și nu o colecție de fapte.

Inspirîndu-se din lucrări de popularizare, un asemenea „critic" își asumă rolul de a interpreta știința, fapt care nu poate să nu-i șocheze pe specialiști. El nu se limitează la observații generale, ci încearcă să dea indicații metodologice concrete, deformînd istoria științei și făcînd confuzie de termeni.

Criticul nostru folosește cuvintele „știință academică" și „specialist" cu o nuanță peiorativă și îl prezintă pe specialist ca pe un partizan mărginit al concepțiilor științifice actuale, care ar fi incapabil să înțeleagă pînă și afirmația evidentă, conform căreia concepțiile se pot schimba după o descoperire importantă, din cauză că legile nu se pot extinde cu certitudine dincolo de limitele zonei studiate.

De obicei, cuvîntul de „specialist" se folosește spre a-i desemna pe oamenii care se ocupă de un domeniu determinat al științei la înalt nivel și cu o înțelegere corectă a perspectivelor. Fără îndoială că există și specialiști slab pregătiți. Dar, din cauză că există și unii medici mai puțin pregătiți, nu se preferă doftoroaia. Tot specialistul este cel care oferă cu o probabilitate mai mare răspunsul corect la o problemă. Să-i parafrazăm pe Ilf și Petrov: trebuie să-i iubim pe specialiști. Ei au răspîndit cultura în toată lumea, au născocit tiparul și revistele de popularizare a științei. Mai mult, tot specialiștii au scris și cărțile de popularizare după care au învățat cei care ne explică nouă științele „necunoscute".

Trebuie să ne luptăm oare cu pseudoștiința?

În anumite situații pseudoștiința aduce mari prejudicii societății, de exemplu atunci cînd vreun pseudosavant reușește să influențeze economia, cultura sau pregătirea tinerețului care face primii pași în știință. Dar, dacă valoarea științifică a unei lucrări nu se stabilește printr-un ordin administrativ, ci prin opinia comună a colectivelor de oameni de știință, probabilitatea unor aprecieri greșite devine minimă.

Din acest motiv, mi se pare că nu trebuie să se lupte împotriva pseudoștiinței punînd-o sub interdicție, ori folosindu-i procedeele.

Lecțiile ignorante care s-au răspîndit atît de mult — cum ar fi cele despre OZN-urile pilotate de umanoizi — trebuie combătute printr-un program susținut de răspîndire a cunoștințelor. Tinerii care vin la astfel de lecții, vor veni cu plăcere să-i asculte pe specialiștii serioși. Ei vor fi desigur inte-

resați să afle că nici un obiect material nu se poate deplasa cu o asemenea viteză și cu o asemenea accelerație cu care, chipurile, s-ar mișca uneori farfuriile zburătoare; numai razele de lumină reflectate de o oglindă pot efectua astfel de mișcări.

Prin urmare, atunci cînd veți vedea, sau veți auzi despre fenomene stranii, care contravin legilor cunoscute de la școală, nu le dați crezare necondiționat. Așa cum juriștii trebuie să pornească de la prezumția de nevinovăție a acuzatului, judecata sănătoasă presupune inexistența minunilor. Una dintre normele fundamentale ale dreptului roman este „Misiunea probatorie revine celui care afirmă, nu celui care neagă".

Nu inexistența fenomenelor stranii și neobișnuite trebuie demonstrată, ci existența lor.

Știința trebuie să selecteze cele mai verosimile explicații și să le mențină atît timp cît experiența sau teoria nu o obligă să le abandoneze. Aceasta este singura cale pe care se pot găsi fenomenele care neagă reprezentările curente.

Iată ce spunea cunoscutul sculptor englez Henry Moore: „Sculptorul sau pictorul greșesc atunci cînd vorbesc sau scriu prea des despre activitatea lor. În acest fel, tensiunea creatoare, atît de necesară, slăbește". Poate că din același motiv specialiștii serioși scriu atît de rar despre metodele științei lor și se indispun atît de des citind articolele lipsite de conștiinciozitate. Cît de multe lucruri minunate ar afla cititorii, dacă oamenii de știință ar considera de datoria lor să le dezvăluie frumusețea științei!

DESPRE PSIHOLOGIA CREAȚIEI ȘTIINȚIFICE

Interesul față de latura psihologică a creației științifice a apărut o dată cu știința însăși. Nu ne-am propus aici o trecere în revistă a literaturii, astfel încît vom omite paragraful care ar fi putut începe cu cuvintele: „Încă la Aristotel, în *Organon*... și vom trece direct la perioade mai tîrzii.

Observațiile profunde și cugetările din cărțile și articolele marelui matematician francez Henri Poincaré (1854—1912) nu și-au pierdut deloc din valoare cu trecerea timpului[14]. O încercare de clasificare a tipurilor psihologice de oameni de știință s-a întreprins în cartea „Oameni celebri" a eminentului

[14] Vezi: Henri Poincaré, *Știință și ipoteză*, Editura Științifică și Enciclopedică, 1986, trad. de C-tin Popescu-Ulmu. — *Nota trad.*

chimist german Wilhelm Ostwald (1863—1932). Analizînd caracterul și stilul de muncă al diferiților oameni de știință, Ostwald a propus clasificarea lor în „clasici" și „romantici". Cunoscutul matematician și pedagog Pólya face în cartea sa foarte captivantă „Matematica și raționamentele plauzibile", o analiză a procedeelor și metodelor care înlesnesc procesul creației matematice[15].

În ultima vreme a crescut brusc interesul pentru aceste probleme și au apărut o mulțime de articole despre psihologia și metodologia științei. S-a născut chiar și un nou domeniu de cunoaștere — știința despre știință. Cum se explică toate acestea? Răspunsul poate fi găsit chiar în articolele de specialitate: „...astăzi, o națiune incapabilă să prețuiască intelectul instruit este sortită pieirii", sau: „avuția națională nu este bine caracterizată nici de rezervele de minereuri și nici de cifrele de producție, ci de numărul de oameni capabili de creație științifică".

Aceste articole au un specific comun: ele nu sînt scrise de oameni de știință, ci de persoane care studiază structura științei, exact așa cum se întîmplă și în artă: articolele nu sînt scrise de artiști, ci de criticii de artă.

Ideile pe care le vom discuta aici constituie o excepție de la regulă, fiind extrase din cugetările și disputele celor care se ocupă nu de „știința" despre știință, ci chiar de știința însăși. Nu-i vorba despre cercetări din domeniul științei despre știință, ci despre un schimb de experiență, de formularea unor opinii acumulate în procesul muncii.

Atracția către creația științifică

Iubirea și pasiunea ți-s departe
de lucrurile deșarte
Tu de cercetare ai vrea să ai parte.
Iubirea-i trecătoare și pasiunea-i înșelătoare,
Dar minunată este și fără perfidie,
Alcătuirea gîndacului de bucătărie.

N. Oleinikov

Ce anume îl atrage pe un tînăr spre știință? Care sînt trăsăturile de caracter necesare pentru o asemenea activitate? Cum se pot educa ele?

[15] Vezi: George Pólya, *Matematica și raționamentele plauzibile*, trad. R. Theodorescu, Editura Științifică, 1962. — *Nota trad.*

Nu ne vom opri asupra unor stimulente cum ar fi înțelegerea utilității sociale a științei, întrucît acest factor este prezent în mod egal în toate domeniile activității umane. Vom considera numai motivațiile psihologice legate nemijlocit de creația științifică. Ele cuprind cîteva elemente.

Curiozitatea, exprimarea, afirmarea

Dorința de afirmare, dorința de a-ți demonstra ție însuți sau celor din jur, că poți duce o treabă la bun sfîrșit este mai puțin proprie spiritului științei, și cu atît mai puțin tendința de a face o carieră sau de a trage foloase. Un motiv poate fi și dorința de a te exprima, de a-ți reliefa personalitatea. Dar motivația cea mai nobilă și care corespunde cel mai bine spiritului științei este curiozitatea, dorința de a afla cum este alcătuită natura. În acest caz, succesul altuia te bucură la fel ca propriul succes. O asemenea atitudine față de știință a manifestat cunoscutul fizician teoretician Isaak Iakobovici Pomeranciuk. Chiar pe patul de moarte se interesa de ultimele lucrări din domeniul teoriei particulelor elementare și se bucura de fiecare idee nouă.

Un asemenea caz ideal se întîlnește rar, nefiind o condiție obligatorie. De obicei, sînt prezente toate trei motivele menționate mai sus.

Cîteodată, dorința de exprimare este atît de pronunțată, încît activitatea științifică nu ajunge pentru a o satisface pe

deplin. Max Planck a fost un bun pianist. Einstein cînta la vioară. Richard Feynman cîntă la instrumentul de percuție numit bongos. La Moscova a avut loc o expoziție de succes intitulată „Savanții desenează"...

Există oameni pentru care afirmarea constituie principalul stimulent al activității creatoare. Dar dacă această dorință nu este însoțită de o conștiinciozitate ireproșabilă, ea se transformă aproape inevitabil într-o goană după rezultate de efect și la o nesocotire involuntară a faptelor. Cîți oameni talentați nu s-au pierdut pentru știință din cauza acestui neajuns!

Printre oamenii nefamiliarizați cu știința este larg răspîndită părerea că savanții sînt ghidați în cariera lor de dorința de a face o descoperire. De fapt, sarcina cercetătorului științific este studierea profundă și multilaterală a domeniului de știință care îl interesează. Descoperirea este numai un produs secundar al cercetării. Aceasta nu înseamnă însă că toți oamenii de știință sînt conduși de astfel de idealuri, încît nu vor să facă descoperiri — dorința, desigur, există, dar în alt plan și nu trebuie să influențeze nici măcar în cea mai mică măsură corectitudinea cercetării.

Prin „descoperire" înțeleg un salt semnificativ în cunoașterea naturii. Descoperiri de mici proporții, de obicei necunoscute de public, se fac mereu, constituind micile bucurii ale activității zilnice. Curiozitatea, capacitatea de a te bucura de fiecare pas, cît de mic, de fiecare mică descoperire — sînt condiții necesare pentru cel care își alege o profesiune științifică.

Capacitatea de a te uimi și paradoxurile științifice

Curiozitatea cercetătorului este legată în mod direct de capacitatea lui de a se uimi. Această calitate este necesară pentru activitatea creatoare din orice domeniu; fără ea n-ar exista nici poetul, nici pictorul, nici omul de știință. Dar, spre deosebire de artă, unde lucrul cel mai important este reacția vie și nemijlocită la cele văzute sau auzite, în știință trebuie să știi să te uimești de rezultatele gîndirii, de semnificațiile cunoștințelor acumulate. Atunci cînd un om de știință este uimit, înseamnă că a decelat o contradicție între anumite fapte și reprezentările obișnuite, adică a apărut un paradox științific. Dicționarul lui Dal definește paradoxul după cum urmează: „părere stranie, barbară la prima

vedere, care dă de gîndit, opusă părerilor generale". Această definiție este valabilă și pentru paradoxul științific, cu adaosul că trebuie convingător fundamentată. De multe ori paradoxurile au dus la revoluții științifice.

Cînd primii navigatori care se călăuzeau după stele, au descoperit că cerul se schimbă, cînd oamenii care au început să se întrebe de ce cînd te apropii de un oraș vezi mai întîi vîrfurile turnurilor, a apărut un paradox științific, și din acest paradox, descoperirea că Pămîntul e rotund.

Din vremea lui Galilei se știe că toate corpurile cad cu aceeași viteză, dacă se face abstracție de rezistența aerului. Aceasta înseamnă că greutatea unui corp, adică forța cu care Pămîntul atrage corpul este riguros proporțională cu masa corpului. Dar și forțele de inerție sînt proporționale cu masele. Datorită acestei dependențe identice a forțelor față de mase, un om aflat într-un ascensor care cade liber se află în stare de imponderabilitate: forța de greutate este compensată exact de forța de inerție. Într-atît de frecvent ne-am izbit de această situație, încît nu remarcăm aici nici un fel de ciudățenie. De ce oare greutatea corpurilor, indiferent de compoziția și de starea lor, este proporțională cu masa, măsură a inerției? Nu rezultă oare din acest paradox că între inerție și gravitație (forțele de atracție) ar exista o legătură internă profundă? Cu această idee a început edificarea uneia dintre cele mai uimitoare teorii fizice, teoria gravitației a lui Einstein.

Conform teoriei gravitației, în vecinătatea corpurilor grele, geometria spațiului se modifică, deosebindu-se deci de geometria noastră euclidiană, obișnuită. Din cauza acestei modificări a geometriei, lumina nu mai parcurge o linie dreaptă; curbarea razelor de lumină prin trecerea lor pe lîngă Soare a fost constatată prin fotografierea luminii unor stele îndepărtate.

De ce dau stelele atît de puțină lumină? Să presupunem că stelele populează Universul mai mult sau mai puțin omogen. Atunci, numărul de stele care se află într-o sferă cu raza R în jurul Pămîntului, crește proporțional cu R^3. Intensitatea luminii de la fiecare stea scade proporțional cu $1/R^2$. Prin urmare, intensitatea totală a luminii de la stelele din sferă este proporțională cu R și, dacă Universul ar fi infinit, atunci luminozitatea cerului ar fi limitată numai de absorbția neglijabilă în spațiul interstelar. Cerul ar trebui să strălu-

ceasca „mai puternic decît o mie de sori[16]. Acest paradox era cunoscut de mult timp[17], dar rămăsese nerezolvat. El a fost rezolvat de cosmologia lui Einstein, care constituie o aplicare nemaiîntîlnită prin îndrăzneală a teoriei gravitației la Universul ca întreg.

Într-o versiune inițială a teoriei, Einstein a încercat să găsească o soluție a ecuațiilor sale care descriau un univers finit, închis în sine însuși, ca suprafața unei sfere. Atunci numărul de stele dintr-un astfel de univers ar fi finit și paradoxul cerului nocturn s-ar explica de la sine. Totuși, așa cum am mai menționat, după Fridman, ecuațiile cosmologiei lui Einstein nu permit soluții independente de timp. Cîndva, universul a fost compus din materie superdensă și de atunci s-a extins mereu. Astronomii au măsurat viteza cu care se depărtează una de alta aglomerările de stele. Din această viteză se poate deduce că universul a fost supradens acum 20 de miliarde de ani. Într-un univers care se dilată, indiferent dacă acesta este finit sau infinit, la noi ajunge numai lumina stelelor aflate la o distanță mai mică decît 20 de miliarde de ani lumină. Acum 20 de miliarde de ani, încă nu existau stele.

Și în universul finit și în cel infinit, geometria este „curbă", deosebindu-se de geometria plană, euclidiană. La întrebarea în ce fel de univers trăim nu se poate răspunde pe bază de raționament. Răspunsul va fi dat de experiment.

Saltul în înțelegerea universului, legat de trecerea de la spațiul plan al geometriei euclidiene la un spațiu avînd o curbură, este asemănător saltului pe care l-a făcut omenirea atunci cînd a observat că Pămîntul nu este plat, ci rotund.

La începutul secolului al XX-lea, a apărut un paradox foarte acut, generat de aplicarea legilor fizicii statistice la un obiect neobișnuit — la undele electromagnetice staționare, care ar putea să apară într-o cutie ai cărei pereți reflectă undele. Conform acestor legi, fiecare oscilație independentă, aflată în echilibru termic din cauza nenumăratelor absorbții și radiații din pereți, trebuie să ajungă la energia kT, unde T este temperatura absolută a pereților, iar k este un număr care se numește „constanta lui Boltzmann".

---

[16] Expresie folosită de participanții la prima explozie nucleară experimentală americană din timpul celui de-al doilea război mondial, cutremurați de forța dezlănțuită. — *Nota trad.*

[17] Paradoxul a fost enunțat în 1826 de cunoscutul astronom H.W.M. Olbers, descoperitorul, între altele, al celui de-al doilea asteroid, Pallas. — *Nota trad.*

Dar numărul de unde electromagnetice staționare din cutie este infinit. Într-adevăr, undele staționare pot lua naștere în cutie, dacă dimensiunile ei permit intrarea unui număr întreg de semiunde. Cu cît este mai mică lungimea de undă, cu atît sînt mai multe direcțiile după care această condiție este îndeplinită. Deci cu cît este mai scurtă lungimea de undă, cu atît este mai mare numărul de oscilații posibile. Prin urmare, cîmpul electromagnetic trebuie să preia toată energia termică a pereților, oricîtă căldură am transporta pe aceștia. Dacă fiecare oscilație ar avea într-adevăr energia kT, atunci, făcînd un orificiu în cutie, am obține o sursă formidabil de strălucitoare. Acest paradox a căpătat o denumire dramatică și anume „catastrofa Rayleigh-Jeans", deși în realitate n-are loc nici o catastrofă.

Încercînd să soluționeze contradicția, Max Planck a presupus că particulele pereților care absorb și emit radiația electromagnetică își modifică energia în porții de $\Delta E = \hbar\omega$, unde h este coeficientul de proporționalitate, iar ω este frecvența oscilațiilor. Dacă energia minimă posibilă de oscilație $\hbar\omega$ este mult mai mare decît kT, oscilația va avea o intensitate mică. În conformitate cu legile fizicii statistice, intensitatea unei astfel de oscilații scade o dată cu creșterea frecvenței, după o lege exponențială, astfel încît oscilațiile de frecvență înaltă au o contribuție mică la energia termică și paradoxul se rezolvă. Această lege se verifică experimental cu o precizie colosală, ceea ce permite determinarea mărimii h. În acest fel și-a făcut apariția în fizică mărimea h, „constanta lui Planck", mărime care caracterizează valorile discrete posibile pentru emisia de oscilații electromagnetice. Tot astfel a apărut noțiunea de procese discontinui. (Mai exact, aici și în cele ce urmează, înțelegem prin h constanta lui Planck împărțită la 2π).

În lucrarea sa din 1905, consacrată efectului fotoelectric Einstein a folosit ideea discontinuității nu numai pentru emisie, cum a făcut Planck, ci și pentru undele electromagnetice. Energia undei electromagnetice cu frecvența ω se poate modifica numai în salturi, în porții de $\hbar\omega$. Porția minimă de energie a oscilațiilor electromagnetice a primit denumirea de „cuantă". Dacă energia oscilației conține n porții de $\hbar\omega$, atunci se spune că în cutie există n cuante, ori n fotoni de frecvență $\hbar\omega$.

Din ce cauză atomii emit lumină numai la frecvențe discrete, bine determinate? Dacă electronii s-ar mișca în atom după legile mecanicii clasice, ei ar emite lumină de

toate frecvențele. Este posibil ca în atom electronii, la fel ca undele electromagnetice, să aibă și ei numai niște energii bine determinate?

Meditînd asupra acestei probleme, ca și asupra altor paradoxuri, Niels Bohr a ajuns la fundamentarea modelului cuantic al atomului.

În 1934, studiind luminescența soluțiilor de săruri de uraniu sub acțiunea radiației X a radiului (cuante aproape „dure") Pavel Alekseevici Cerenkov a descoperit o lumină stranie, complet deosebită de lumina obișnuită.

La experimentul respectiv și la interpretarea lui, a luat parte și conducătorul științific al lui Cerenkov, Serghei Ivanovici Vavilov, care a devenit mai tîrziu președintele Academiei de Științe a U.R.S.S. Acesta din urmă a intuit imediat importanța noului fenomen. Analizînd cauzele posibile ale radiației luminoase, Vavilov a arătat că nici unul dintre mecanismele obișnuite nu pot explica particularitățile radiației observate. De exemplu, nu putea fi vorba despre așa-numita radiație de frînare — radiație care se obține atunci cînd electronii rapizi produși de cuantele gama sînt împrăștiați pe atomi (electronii respectivi sînt smulși de cuante din atomi).

Radiația de frînare este emisă la unghiuri mici în direcția mișcării electronilor de mare energie în timp ce radiația găsită de Cerenkov se observă la unghiuri mari. Fenomenul a părut și mai straniu atunci cînd s-a observat că radiația are loc numai după un unghi strict fixat față de direcția cuantelor gama și deci și față de direcția electronilor smulși de către acestea.

De cîte ori un fenomen contrazice atît de flagrant teoria, apare tentația de a pune la îndoială temeinicia experimentului. Totuși, fără să țină seamă de toate obiecțiile, Cerenkov și-a continuat cu o stăruință de adevărat experimentator lucrările, desăvîrșind metodica măsurătorilor. El a demonstrat că radiația anomală apare într-o diversitate imensă de lichide. Așa a apărut un paradox științific.

Vavilov s-a apropiat la un moment dat foarte mult de explicarea fenomenului. El a presupus că electronii generați de radiația gama sînt supuși în timpul deplasării lor în mediul respectiv la excitații periodice și din această cauză produc lumina observată.

Dar această explicație a fost respinsă de teoreticieni, care au obiectat, arătînd că electronul se mișcă în lichid cu o viteză constantă, iar particula încărcată radiază numai

atunci cînd este accelerată sau frînată. Electronul emite unde electromagnetice din fiecare punct al traiectoriei sale, dar, atunci cînd se mișcă rectiliniu și uniform, se găsesc întotdeauna porțiuni de traiectorie care emit unde în opoziție de fază și care se sting unele pe altele. Dacă în urma ciocnirilor, sau sub influența unui cîmp electromagnetic, electronul își schimbă direcția, undele emise înainte și după schimbare încetează să interfereze distructiv și astfel apare radiația de frînare.

Așa s-a explicat de ce electronul nu emite lumină dacă se mișcă uniform și rectiliniu. Dar în această explicație există o presupunere rămasă neobservată: viteza electronului era considerată mai mică decît viteza luminii. Această condiție este totdeauna îndeplinită în cazul vidului. Conform teoriei relativității, oricît de mare ar fi energia particulelor, viteza lor este mai mică decît viteza luminii. Dar într-un fluid, electronul de mare energie se deplasează cu o viteză apropiată de viteza luminii, în timp ce undele electromagnetice se răspîndesc cu viteza c', mult mai mică: $c' = c/n$, unde n este indicele de refracție al mediului (în soluții, pentru lumina vizibilă, $n \cong 1{,}5$).

Nu este greu să ne imaginăm că în cazul în care $v > c'$ există un unghi de radiație în care undele care pornesc de la toate porțiunile traiectoriei se însumează. Unghiul Θ este legat direct de viteza electronului și de indicele de refracție: $\cos \Theta = c'/v$. Exact sub acest unghi se produce radiația Cerenkov — Vavilov.

Un fenomen asemănător, dar nu pentru lumină, ci pentru sunet, a fost descoperit în secolul trecut de Ernest Mach. Glonțele care se deplasează cu o viteză supersonică emite șuieratul sub un unghi, al cărui cosinus este egal cu raportul dintre viteza sunetului și viteza glonțelui (unghiul lui Mach). La fel se întîmplă și cu avioanele supersonice.

În 1937, Igor Evghenievici Tamm și Ilia Mihailovici Frank au înțeles cauza fizică a fenomenului numit radiația Cerenkov — Vavilov și i-au formulat teoria cantitativă. Determinînd unghiul sub care este emisă radiația, se poate găsi viteza particulei încărcate. Din acest motiv, radiația Cerenkov — Vavilov a jucat un rol important în experimentele din fizica energiilor înalte. A devenit posibil să se determine cu o mare precizie energia protonilor sau a altor particule care iau parte la ciocnirile particulelor elementare.

În 1958, I. Tamm, I. Frank și P. Cerenkov au primit Premiul Nobel „pentru descoperirea și interpretarea efectului Cerenkov".

Iată acum modul în care academicianul Piotr Leonidovici Kapița, de la Institutul de fizică al Academiei de Științe a U.R.S.S., a descoperit, în 1937, fenomenul de suprafluiditate.

Pe atunci se studiau proprietățile heliului lichid la temperaturi joase. Se știa că la temperaturi mai scăzute decît 2,2 K (—270,8 grade Celsius), heliul lichid trece într-o altă stare — heliul II, cu proprietăți complet diferite. Fizicianul olandez Willem Keesom a constatat faptul ciudat că heliul II are o conductibilitate termică de 10^6 ori mai mare decît cuprul. Apoi s-a constatat că heliul II are o vîscozitate anomal de mică, de 10^3 ori mai mică decît apa. Dar mecanismul microscopic al conductibilității termice și al vîscozității sînt foarte asemănătoare, iar la o conductibilitate termică mare, trebuie să apară și o vîscozitate mare. Conductibilitatea termică este determinată de viteza de transmitere a energiei termice de la un strat la altul, iar vîscozitatea — de viteza de transmitere a impulsului. Cu cît una dintre aceste mărimi fizice are valori mai mari, cu atît este mai mare și cealaltă, dar la heliu totul era invers.

Examinînd acest paradox, Kapița a ajuns la concluzia că nu este vorba despre nici un fel de „supraconductibilitate termică" și că valoarea mare a conductibilității termice găsită de Keesom este mijlocită de niște curenți care apar în heliul II din cauza stării de suprafluiditate. În această stare, heliul lichid poate trece prin tuburi fără nici o frecare. Cea mai mică neomogenitate de densitate apărută ca urmare a diferențelor de temperatură este suficientă pentru ca, sub influența forței de greutate, să apară curenți care transportă căldură.

Pentru ca ideea lui să devină un adevăr dovedit, Kapița a trebuit să efectueze zeci de experiențe de mare finețe. Fiind un experimentator de prim rang, el a discutat experimentele cu un teoretician de aceeași talie, Lev Davidovici Landau. Teoria și experimentul se stimulau reciproc. Datorită acestei colaborări, Landau și-a conceput una dintre cele mai valoroase lucrări — teoria heliului lichid II, explicînd cantitativ toate fenomenele descoperite experimental de Kapița.

Din aceste exemple se poate vedea ce rol joacă în știință capacitatea de a te uimi. Dar, în același timp, exemplele date oferă și o idee despre frumusețea științei. Din faptele neobservate la prima vedere, apar, prin analize profunde, consecințe neașteptate de cea mai mare importanță. Cerul nocturn slab luminat ne-a obligat să reconsiderăm punctele noastre de vedere privind structura geometrică a lumii. Legea conservării energiei și trecerea uniformă a timpului ne apar strîns legate. Cîmpului electromagnetic i se aplică legile descoperite prin studierea atomilor unui gaz încălzit, ceea ce duce la o concluzie conform căreia, energia oscilațiilor electromagnetice nu se poate modifica decît cu cantități discrete, fapt aflat în contradicție totală cu mecanica clasică.

Eminentul matematician german David Hilbert a exprimat interdependența logică a rezultatelor științei în modul următor: „Permiteți-mi să admit că doi ori doi fac cinci, și eu vă voi demonstra că pe coșul sobei iese o stafie". Frumusețea științei se află atît în armonia ei logică cît și în bogăția conexiunilor sale. Simțul frumosului permite să se verifice corectitudinea rezultatelor și să se caute legități noi. Acest simț constituie o reflectare în conștiința noastră a armoniei existente în natură.

Noțiunea de frumos este atît de importantă în știință, încît vom reveni de multe ori asupra ei.

Capacitatea de a simți frumusețea și de a te uimi trebuie să fie determinante în alegerea unei profesii științifice.

Recifele

Dumnezeu este subtil, dar nu rău intenționat

Inscripție pe căminul din locuința lui Einstein

Niels Bohr spunea că „Specialist este cel ce cunoaște greșelile care se fac de obicei în domeniul respectiv și știe să le evite".

Să examinăm deci cele mai frecvente și mai importante greșeli psihologice care îngreunează activitatea științifică.

Este mai important cum gîndești decît ce gîndești.
(J.W. Goethe)

În primul stadiu al lucrării, atunci cînd trebuie să ațiți flacăra gata-gata să se stingă, căutarea unor argumente care să sprijine punctul de vedere adoptat este deseori absolut necesară. Dar, atunci cînd lucrarea a început să capete contur, autoliniștirea îți aduce numai prejudicii. Din acel moment, sarcina principală devine căutarea faptelor care te pot contrazice. Dovezile „pro" se găsesc de la sine, aproape fără efort.

Tendința de a face cu orice preț o descoperire duce frecvent la căutarea argumentelor liniștitoare, sau chiar la o anumită manipulare a faptelor.

Iată un caz în care o abatere minoră de la scrupulozitatea prelucrării datelor experimentale a dus, prin acumulare, la un rezultat total incorect. Era în studiu distribuția după energie a particulelor emise de nuclee prin dezintegrarea alfa, sau, cu alte cuvinte, se urmărea obținerea spectrului energetic al particulelor alfa. El constă din niște picuri (vîrfuri) pronunțate. Nu este dificil de imaginat că diferența dintre picuri oferă posibilitatea calculării valorilor energiei de excitație a nucleului rămas în urma dezintegrării alfa (nucleul-fiică).

Experimentele au evidențiat grupuri de particule alfa separate unele de altele prin intervale egale de energie, fapt care înseamnă că și nucleul-fiică are nivelele energetice separate prin intervale egale. Rezultatul era total neașteptat și contrazicea reprezentările despre structura nucleului.

Experimentatorii s-au adresat teoreticienilor pentru explicații. Cu toate străduințile lor, aceștia din urmă n-au reușit să închegheze nici o teorie, fapt cu care ne putem mîndri, întrucît verificările ulterioare n-au confirmat rezultatele experimentale acumulate inițial. Mai tîrziu, s-a clarificat că încă de la începutul experimentului s-au obținut întîmplător niște curbe care evidențiau energii echidistante ale particulelor alfa. Acest rezultat neașteptat i-a tulburat într-atîta pe experimentatori încît, de fiecare dată cînd nu se mai repeta, aceștia verificau tensiunea rețelei, iar dacă tensiunea se deosebea de cea nominală, renunțau la rezultatele

măsurătorilor. O astfel de verificare era întreprinsă numai atunci cînd rezultatul nu convenea. Datorită statisticii bogate, o mică discriminare a dus la obținerea unui spectru cu energii riguros echidistante. Faptele descrise s-au întîmplat în laboratorul unui experimentator renumit pentru conștiinciozitatea lucrărilor sale, dar care, în cazul relatat, și-a pierdut controlul asupra colaboratorilor săi mai puțin versați. Nu există, desigur, conștiinciozitate de calitatea întîia sau a doua, conștiinciozitatea este numai de un singur fel: ireproșabilă. Este exact așa cum spunea Woland în cartea *Maestrul și Margareta* a lui Bulgakov: „...prospețimea e numai de un fel, de calitatea întîia, care e și ultima".

Simptomele „marii descoperiri"

Aspirația de a face cu orice preț o descoperire, de a înfăptui o cotitură în știință îl duce adesea pe om dincolo de posibilitățile sale reale și uneori sfîrșește trist, sau chiar tragic. Se știe că institutele de fizică stabilesc prin rotație cercetători care să dea răspunsuri autorilor „marilor descoperiri". „Descoperirile" de acest fel au următoarele caracteristici generale:

1. Cotitura survine nu numai într-o anumită problemă, ci dintr-o dată în toate rezultatele științei contemporane.

2. Autorul nu posedă cunoștințe în domeniul respectiv.

3. Nu sînt citate niciodată lucrările științifice contemporane, probabil deoarece autorul nu le cunoaște.

4. Autorii afirmă că lucrarea lor este rodul unor eforturi de mai mulți ani, deși se vede că timpul respectiv n-a fost folosit nici pentru calcule matematice, nici pentru experimente, și nici măcar pentru analiza faptelor cunoscute, ci numai pentru autoliniștire.

5. Autorii n-au produs niciodată lucrări de proporții mai modeste.

Putem astfel identifica fără greș și indiferent de detalii lucrările „noului întemeietor" sau ale „deschizătorului de drumuri" (terminologia a fost inventată pentru asemenea cazuri încă de către Wolfgang Pauli). Adevărata cotitură în știință implică în mod nemijlocit o arie relativ restrînsă de fenomene și se produce pe fundamentul solid al cuceririlor existente ale științei, ale tuturor domeniilor conexe. Știința contemporană este atît de specializată, încît necesită un

arsenal imens de cunoștințe tehnice, care se dobîndesc numai printr-o muncă îndelungată, susținută și conștiincioasă.

Din nefericire, cîteodată, asemenea „lucrări" găsesc sprijin din partea unor oameni cu titluri științifice și sînt publicate în articole și cărți. Partizanii senzaționalului în știință indiferent de funcții și titluri, au aceeași relație cu știința, ca și autorii „descoperirilor". Ar fi bine dacă redactorii care nu au suficientă calificare științifică s-ar conduce în aprecierile lor după lista de simptome ale „marii descoperiri".

Superstiții și legende

O prelucrare insuficient de riguroasă a datelor statistice duce în mod inevitabil la greșeli și la apariția superstițiilor. Fiecare om a trecut prin ceva neobișnuit care ar trebui explicat prin telepatie. Dar, pînă acum, așa cum am mai amintit, nu există dovezi serioase în favoarea acesteia. În pofida unor cercetări de ani întregi, nu există experimente care să ofere rezultate repetabile cu o statistică cît de cît convingătoare. Dar aceeași conștiinciozitate științifică ne interzice să afirmăm că nu există telepatie. Tot ceea ce se poate spune este că fenomenul n-a fost pus în evidență și, din acest motiv, existența sa este puțin probabilă.

Discuția noastră a început prin sublinierea dificultății întîmpinate la trecerea de la intuiție la adevărul științific

dovedit. Omul de știință dobîndește adevărul cu eforturi chinuitoare, înaintînd pas cu pas, ca un alpinist pe peretele vertical al muntelui.

Filmul „Amintiri despre viitor"[18] a dezamăgit pe toți cei care au cît de cît legătură cu știința. Pornind de la fapte care au zeci de explicații simple, în film se susține cu o ușurință ieșită din comun că pe Pămînt ar exista urme ale astronauților veniți de pe alte planete. Schema manipulării faptelor este următoarea: dacă într-o imagine din antichitatea îndepărtată un om apare cu o oală pe cap, oala este considerată o cască de astronaut, iar dacă apare fără oală, atunci înseamnă că i-a căzut la frînarea cosmonavei cu care a călătorit. Autorii nu-și pun întrebarea de ce astronauții de pe alte planete trebuie să fie asemănători cu astronauții noștri, de ce dotările lor trebuie să fie asemănătoare cu ale noastre ș.a.m.d., dar hiba nu-i aici. Autorii filmului nu înțeleg, sau se prefac a nu înțelege ce diferență imensă există între o bănuială, fie ea și verosimilă și adevărul demonstrat cu certitudine, cînd sînt excluse categoric orice alte explicații, în afară de una singură.

Există numeroase exemple de „superstiții", de erori destul de răspîndite, apărute pe temeiuri șubrede. Reprezentarea energiei termice ca un fluid (caloricul), care ar curge de la corpul fierbinte la cel rece, a fost firească și fertilă, dar după apariția teoriei cinetice a gazelor, caloricul a trecut în categoria superstițiilor, la fel ca eterul secolului al XIX-lea, după apariția teoriei relativității.

În secolul nostru, chiar dacă survin, erorile se mențin foarte puțină vreme. Dar chiar și în zilele noastre și-au păstrat valoarea spusele fizicianului și filosofului german din secolul al XVIII-lea, Georg Lichtenberg: „Descoperirea adevărului științific este frînată nu de erorile grosolane, ci de teoriile subtile, dar incorecte".

Trebuie înțeles dinainte?

Există un cerc vicios din care, cel puțin aparent, nu se poate ieși: fără o înțelegere clară a problemelor nu se poate face o lucrare științifică, dar la o înțelegere deplină se ajunge numai la sfîrșit (și uneori nici atunci). Iată una dintre dificultățile principale ale activității științifice. Această con-

[18] După cartea omonimă a lui E. von Däniken. — *Nota trad.*

tradicțic este depășită în fiecare lucrare, dar procesul nu are loc în salturi, ci, pe măsura înțelegerii, cercetarea avansează, ceea ce la rîndul său permite și creșterea gradului de înțelegere.

Deseori, la începutul unei lucrări, atîta timp cît nu împiedică mersul înainte, răspunsurile la problemele sau întrebările mai dificile sînt amînate. Cîteodată, lista cu problemele nerezolvate se mai pierde printre hîrtii. Cînd o regăsești, vezi cu uimire că, în timpul rezolvării problemei principale, aproape toate neclaritățile au dispărut de la sine.

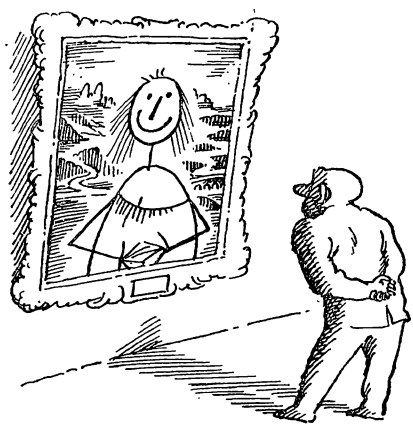
Tendința de a înțelege absolut totul de la bun început, pentru ca numai după aceea să te apuci de lucru, este o cauză frecventă a eșecului. Există însă oameni care, prin însăși structura lor, nu sînt în stare să bîjbîie în necunoscut, să lucreze fără să fi înțeles bine problemele. Astfel de cercetători științifici sînt foarte utili pentru aprecierea critică a lucrărilor. Este greu de supraapreciat rolul lor în știință; în orice caz acesta este mult mai mare decît îl relevă studiul propriilor lor lucrări, oricît ar fi ele de importante. Un fizician eminent, cu darul unei profunde înțelegeri, regretatul profesor Ilia Mironovici Șmușkevici, aparținea acestei categorii. La sfîrșitul, sau chiar la jumătatea unei lucrări, fiecare dintre cunoscuții săi se străduia să i-o supună criticii. Această procedură avea și un nume: „a trece lucrarea pe la Șmușkevici". Toate părțile îndoielnice, sau insuficient gîndite ieșeau atunci la iveală. Dacă lucrarea reușea să „treacă" fără observații, însemna că totul este în ordine.

Într-o formă disimulată, teama de erori se manifestă prin dorința de a produce numai lucrări foarte sigure. O consecință a acestei atitudini este respingerea tuturor acelor cercetări care nu sînt posibile decît dacă se admit supoziții mai puțin fondate, dar plauzibile. Chiar și fizicienii de mare clasă au de suferit de pe urma intransigenței împinsă peste limită. În necrologul consacrat lui Paul Ehrenfest care a fost un fizician de mare profunzime, Einstein scria: „El a suferit tot timpul din cauză că aptitudinile sale critice îi depășeau capacitățile constructive".

„Slujirea muzelor nu-ngăduie deșertăciunea..." A.S. Pușkin

Defectul opus este dorința de a „prinde din zbor", de a ghici rezultatul ocolind procesul de înțelegere. Să-l numim „sindromul copil-minune". Educația sau autoeducația cer-

cetătorului științific trebuie să înceapă prin evitarca acestui sindrom. Landau, care se remarca printr-o cuprindere surprinzător de largă a tuturor domeniilor fizicii și o formidabilă perspicacitate, nu permitea niciodată manifestări ale „sindromului copil-minune", ci se străduia să ducă problema pînă la deplina ei clarificare. El spunea în glumă: „Sînt un vulgarizator genial".



Se constată un fenomen remarcabil: gîndirea științifică profundă are de cîștigat de pe urma simplificărilor. În artă, lucrurile stau invers: o operă încheiată nu se poate simplifica, întrucît această încercare o distruge. Cuvintele: „Băiete, umple-mi cupa cu licoare amăruie de Falerno!" s-ar putea, simplifica așa: „Băiete, toarnă-mi vin!" Se pot, desigur, analiza elementele farmecului artistic, dar o operă de artă nu se poate reduce la elementele ei constitutive, ci trebuie recepționată ca un întreg. În știință, însă, reducerea la elemente este posibilă.

Pentru înțelegerea fenomenelor importante din artă, trebuie să te ridici la înălțimea lor, în timp ce cuceririle științei pot fi „coborîte" și făcute accesibile „omului de pe stradă". În acest scop, se impun eforturi creatoare la fel de intense ca și pentru o lucrare științifică. Multe cărți de popularizare, scrise de savanți eminenți, imprimă un impuls dezvoltării științei, la fel de mare ca lucrările lor de specialitate. Lectura unor astfel de cărți necesită cîteodată un efort susținut, în schimb, ele nu ocolesc dificultățile, iar simplificările nu degenerează în vulgarizare.

În munca științifică n-au ce căuta graba și vanitatea, dar, pe de altă parte, o activitate insuficient de intensă nu este eficientă. De fapt, observația de mai sus este valabilă pentru orice activitate umană.

Încă o trăsătură psihologică îngreunează, de obicei, activitatea creatoare, și anume, încrederea exagerată în sine. Desigur că nu se poate întreprinde nimic serios fără încredere în propriile forțe. Dar, cînd direcția de cercetare este greșită, convingerea în infailibilitatea proprie are drept consecință menținerea cu încăpățînare a orientării.

Trebuie găsită proporția justă între încredere și îndoială, între șovăială și fermitate, între flexibilitate și inflexibilitate.

Cîți îngeri încap pe un vîrf de ac?

Deseori, activitatea este frînată de discutarea unor probleme antiștiințifice sau extraștiințifice. Uneori, caracterul antiștiințific se observă imediat, ca în cazul disputelor scolastice despre numărul îngerilor care încap pe un vîrf de ac, sau cazul cînd nu se discută esența problemei, ci terminologia. Caracterul extraștiințific însă nu este chiar atît de evident.

Are, de exemplu, vreo semnificație științifică afirmația potrivit căreia, alături de lumea în care trăim, mai există una, pe care n-o observăm, întrucît nu interacționează cu lumea noastră? Nu dispunem de nici un fel de mijloace pentru verificarea acestei afirmații, deci ea nu se află sub incidența științei.

Putem formula oare îndoieli față de mecanica cuantică? Desigur că nu există adevăruri de care să nu te poți îndoi, dar este mai bine să nu pui un lucru la îndoială decît pe baza unor motive solide. Știința nu s-ar fi putut dezvolta fără grija față de adevărurile bine stabilite.

Mecanica cuantică și teoria relativității au fost supuse foarte des unor critici neștiințifice. Cel mai frecvent, critica se reducea la încercarea de a explica în alt mod fenomenele ce fuseseră explicate de teorii anterioare. Dar, atîta timp cît nu sînt descrise experimentele care să dovedească justețea noului punct de vedere sau erorile celui vechi, discuția nu are legătură cu știința și, în cel mai bun caz, poate avea doar o valoare pedagogică.

Există un criteriu sigur pentru a diferenția problemele științifice de cele neștiințifice. Toate afirmațiile care din principiu nu admit nici măcar o verificare sînt neștiințifice. Criteriul derivă din „principiul observabilității", despre care a fost vorba în capitolul „Instrumentele cunoașterii". O posibilitate de verificare trebuie să existe, fie și numai una mentală, dacă nu e posibilă una reală. Obiectul de studiu poate fi o teorie care nu descrie lumea noastră, dar care să fie logică, așa cum este, de exemplu, geometria lui Lobacevski. Ea poate fi considerată științifică, numai dacă toate consecințele ei pot fi supuse verificării mentale, dacă facem experimente mentale în lumea închipuită pe care o descrie teoria, sau, mai pe scurt, dacă se obțin anumite relații bine determinate între mărimile specifice ale teoriei.

Să luăm drept exemplu concepția despre divinitate. Dacă divinitatea este prezentată ca fiind o substanță spirituală, care nu influențează legile naturii, existența ei nu se relevă prin relații observabile și, prin urmare, în conformitate cu principiul observabilității, o asemenea divinitate este o noțiune neștiințifică. Dar dacă prin divinitate se înțelege o forță materială care influențează legile naturii, această noțiune trebuie inclusă în sfera științelor naturii. Oamenii de știință pot repeta ideea lui Pierre Laplace, după care, pînă acum nu există date experimentale care să impună divinitatea. Toate legile cunoscute ale naturii au putut fi explicate fără introducerea vreunor influențe lătură lnice.

Dragostea față de știință este de neconceput fără respectul profund față de realizările spirituale ale înaintașilor.

Cum se explică însă dorința destul de răspîndită de a căuta nod în papură oamenilor geniali, de a le descoperi greșeli, de a le pune pe seamă „împrumuturi" de la alții, micșorînd astfel valoarea lucrărilor lor?

Desigur, uneori creațiile geniale și autorii lor sînt criticați din motive politice sau naționaliste, așa cum a fost cazul cu critica teoriei relativității întreprinsă de fasciști și de urmașii acestora. Nu despre aceasta vorbim acum; deși n-are nici o justificare, situația are cel puțin o explicație.

Mult mai greu este de explicat un fenomen psihologic, și anume, tendința de a umili geniul, răspîndită nu numai în rîndurile publicului larg, ci chiar și în cercurile de oameni care se consideră specialiști.

Devenit, datorită vioiciunii penelului, pictor la modă, eroul gogolian Ceartkov din nuvela „*Portretul*" susținea „că artiștilor vechi li se atribuiau prea multe calități, și că toți — pînă la Rafael — făceau scrumbii, nu trupuri omenești, iar ideea că ar exista în operele lor ceva divin, era numai rodul închipuirii admiratorilor. Susținea că nici lui Rafael nu i-au reușit toate operele și că multe dintre ele și-au păstrat faima numai în virtutea tradiției; că Michelangelo era un lăudăros; se fălea el cu cunoașterea anatomiei, dar era cu totul lipsit de grație"...[19]

Cît de mult au pătimit în timpul vieții lor Galilei, Pușkin, Wagner, Boltzmann, Lobacevski, și cît de multă energie sufletească a trebuit să irosească Einstein ca să se apere de atacuri și învinuiri absurde. Contemporanii ar trebui să se bucure că un om de lîngă ei scrie un roman, face o descoperire, compune o simfonie, dar exact aceste fapte îi irită pe indivizii care gîndesc ca Ceartkov.

„Cunoscătorii" nu-i lasă în pace pe marii creatori nici după moarte. Cui oare nu i-au fost atribuite sonetele și tragediile lui Shakespeare: de la Francis Bacon și pînă la regina Elisabeta. Unii „critici muzicali" pretind că *Requiemul* nu este creația lui Mozart ci a unuia dintre elevii săi. Cioplind statuile unor mari savanți, sculptorii îi înfățișează deseori ca pe niște pocitanii cu picioare scurte...

---

[19] N.V. Gogol, *Opere*, vol. III, Editura Cartea Rusă, 1956. — *Nota trad.*

Ţinta predilectă a unor astfel de atacuri au constituit-o lucrările lui Einstein privitoare la teoria relativităţii restrînse şi a relativităţii generalizate (teoria gravitaţiei). Aproape toţi istoricii ştiinţei văd în teoria gravitaţiei un exemplu extrem de rar de mare descoperire făcută de un singur om. Cînd toate ideile fizice fuseseră formulate de autorul lor pînă la capăt, marele matematician german David Hilbert a îmbunătăţit ecuaţiile lui Einstein, făcîndu-le mai exacte. Acelaşi lucru l-a făcut, în mod independent, Einstein însuşi. Hilbert era conştient de rolul modest pe care l-a avut în dezvoltarea teoriei gravitaţiei. Dar se mai găseşte cîte un „istoric al ştiinţei" care pretinde că Hilbert ar fi avut un rol major în desăvîrşirea teoriei einsteiniene. Altul afirmă despre Einstein: „Ştiinţa are de cîştigat cînd minţi pătrunzătoare sînt capabile să finalizeze idei care plutesc în aer"...

„Cunoscătorul" care se ocupă de istoria ştiinţei, minimalizînd creaţia unor oameni de geniu, vorbeşte despre marile descoperiri ca despre ceva banal. El încearcă să lase impresia că descoperirile nu sînt rezultatul unor eforturi chinuitoare şi al unor străfulgerări şi că aceste descoperiri „pot fi cunoscute" uşor de către toţi. Deşi respectă evenimentele, un astfel de istoric denaturează de fapt istoria, asumîndu-şi, poate fără voia lui, sarcina de a minimaliza poezia şi grandoarea actului ştiinţific.

Despre ce este vorba de fapt, ce anume provoacă această boală: invidia, dorinţa de afirmare, grandomania?

Se poate, desigur, riposta că plăsmuirile nu au viaţă lungă. Einstein va rămîne Einstein, Mozart va rămîne Mozart, dar lipsa de respect faţă de marile realizări ale spiritului omenesc îi poate molipsi şi pe cei tineri, care vor păşi pe drumul către creaţie sorbind din otrava nihilismului.

Nu trebuie să ne plecăm orbeşte în faţa autorităţii, dar pentru a face posibile viitoarele împliniri, trebuie să cinstim memoria celor care au înfăptuit lucruri măreţe.

„Văd barba, dar nu-l văd pe filosof" (Proverb francez)

Pe cei care se ocupă cu ştiinţa îi pîndeşte încă un pericol: „îmbătrînirea". Am pus cuvîntul între ghilimele, întrucît nu are nimic de-a face cu vîrsta. „Îmbătrînirea" începe pe nesimţite şi poate lovi chiar o persoană de 30 de ani. Este foarte tentant să treci toată munca tehnică pe umerii aju-

toarelor, ca să-ți faci timp liber pentru activități științifice mai importante. Dar, încetul cu încetul, în acest fel se transmit prin delegație și calculele și chiar o parte din raționamente. Nu se cade așa ceva, după cum nu se cade nici să te adresezi unei persoane printr-un intermediar. Amatorii de pictură de vîrstă mijlocie își amintesc foarte bine pînzele uriașe care acopereau pereții sălilor de expoziții în primii ani de după război. Tablourile acelea erau pictate după „metoda brigăzilor": pînza era împărțită în pătrate și dreptunghiuri, fiecare pictor lucra la parcela lui; uneori „diviziunea muncii" mergea și mai departe: unul picta chipul, altul uniforma, al treilea, steagurile... Majoritatea tablourilor erau semnate de pictori cunoscuți; din fericire, nici una dintre aceste pînze nu mai sînt expuse.

De îndată ce un cercetător încetează să mai lucreze cu mîinile proprii, adică nu mai face măsurători, dacă este experimentator, sau calcule, dacă este teoretician, începe „îmbătrînirea" lui, indiferent de vîrstă sau funcție. Cel „îmbătrînit" își pierde capacitatea de a se uimi și de a se bucura de fiecare pas cît de mic înainte și, totodată, nu mai dorește să studieze. O dată cu îngîmfarea și aroganța, apare tendința de a rezolva numai probleme de importanță mondială... În același timp, numărul de lucrări publicate în unitatea de timp crește brusc. Lui i se pare că toate sfaturile pe care le dă sînt deosebit de prețioase și infailibile și că este suficient să petreacă o jumătate de oră pe săptămînă lîngă o instalație experimentală, ca să devină coautor al lucrărilor. Este adevărat că, uneori, sfatul unui om calificat și care are o mare experiență, poate să influențeze în chip hotărîtor mersul unei lucrări. Sfatul poate fi atît de valoros, încît să-i dea dreptul de a fi coautor. Dar acestea sînt excepții, iar participarea la un număr mare de lucrări publicate constituie un semnal de alarmă. Adesea, acest fapt nu numai că nu inspiră respect, ci este prilej de ironie. Cum să le explici toate acestea celor vizați direct? Și, în general, cum să explici că este imposibil de admis ca un cercetător, oricare ar fi el, să aibă un număr foarte mare de lucrări. Poate că ar trebui să conteze nu atît numărul lucrărilor științifice cît rezultatele originale obținute, problemele științifice rezolvate în lucrările respective, sau, dacă este absolut necesară o cifră, să se ia în considerație numărul de referiri la lucrările respective.

Pe lîngă faptul că monopolizează presa științifică, numărul prea mare de lucrări ale unui autor creează o atmo-

sferă nesănătoasă de succes ieftin, străin scopurilor științei. Treptat, scade simțul de răspundere, precum și exigența în ceea ce privește calitatea expunerii. Se naște totodată ideea liniștitoare că, în pofida greșelilor, și o lucrare incorectă indică deseori calea justă...

Treptat, conținutul științific se diluează în generalități, crește partea descriptivă și scade numărul de formule. Lipsa de idei noi este compensată de autor prin observații pline de spirit. Atunci cînd încearcă să se reîntoarcă la activitatea adevărată, un astfel de cercetător este capabil să facă numai observații la lucrările efectuate de alții. Această boală se acutizează cînd cercetătorul respectiv ajunge dintr-o dată într-o înaltă funcție administrativă. Din acel moment, la enunțurile sale științifice se adaugă o încredere în sine, proporțională cu posibilitățile oferite de funcție. Există multe astfel de cariere științifice. Activitatea administrativă nu poate înlocui bucuria autentică a muncii creatoare și, deseori, din acest motiv, apare un profund simțămînt de insatisfacție care uneori este reprimat. Acesta este prețul subaprecierii muncii științifice.

Și în activitatea artistică mecanismul de „îmbătrînire" este asemănător. Să ne amintim cuvintele eroului gogolian Ceartkov: pictorul poate deveni „bătrîn" chiar de la începutul strălucitei sale cariere, dar marii maeștri ca: Leonardo, Tizian și Picasso, au pictat pînă la adînci bătrînețe tablouri minunate și de mare profunzime. Ei au apelat fără șovăire la mijloace noi de expresie, renunțînd la vechea cale bătătorită. Desigur, însă, că indiferent de vîrstă, un om cu o

astfel de caracteristică psihologică nu va face nimic important, nici măcar ceva folositor în știință.

În interesanta sa carte consacrată geneticii, *Mama, tata și eu*, V. Polînin spune: „Știința are o mare slăbiciune pentru tineret"... și mai departe... „ea preferă un încurcă-lume ușuratec, dar stăpînit de spiritul revoltei și al contestației...".

Cred că succesul în știință nu este legat de vîrstă, ci de o anume îmbinare a capacităților, de un anumit tip psihologic. Aceste calități nu se estompează obligatoriu o dată cu trecerea anilor.

Dar cum rămîne atunci cu faptul mai presus de orice îndoială, că majoritatea descoperirilor au fost făcute de oameni tineri? Din examinarea statistică a faptelor se trage concluzia că lucrările importante în matematică sau fizica teoretică se pot efectua numai pînă la 30 de ani.

După opinia mea, aici există o confuzie generată de analizarea incorectă a datelor statistice.

Statistica indică numai existența unei corelații între vîrstă și succesul științific, dar de aici nu rezultă că această legătură este absolută, sau că ar decurge din logica activității științifice.

Mulți oameni părăsesc activitatea științifică din diverse motive exterioare care, deseori, dar nu obligatoriu, se înmulțesc o dată cu vîrsta: griji familiale, boală, automulțumire.

Munca științifică e grea. Mulți oameni nu rezistă la efort și o părăsesc pentru domenii mai ușoare.

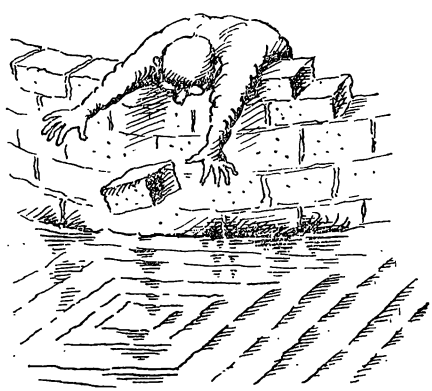
Omul de știință trebuie să-și restructureze întregul sistem de concepții, stilul de muncă, sau chiar și psihologia, o dată cu fiecare mare descoperire, ceea ce este, desigur, greu, dar nu imposibil. Desigur, cercetătorul tînăr, încă nemarcat de balastul reprezentărilor tradiționale, poate face mai ușor acest lucru. Dar flexibilitatea gîndirii, dobîndită prin experiența activității științifice, poate compensa acest avantaj al neofitului. În orice caz, capacitatea individuală de a recepta noul joacă un rol mult mai important decît schimbările care se produc în medie o dată cu vîrsta. Din acest motiv, vîrsta limită pentru activitatea științifică nu poate fi stabilită statistic, ci este determinată de calitățile individuale ale omului de știință.

Principala cauză a îmbătrînirii premature este, după părerea mea, următoarea: foarte des, dobîndind succese la o vîrstă fragedă, cercetătorul vrea să obțină în continuare

rezultate cel puțin la fel de importante și pierde capacitatea de a se bucura de „micile descoperiri", de munca zilnică, fără de care nu există activitate științifică. Atunci pășește pe drumul trist al îmbătrînirii pe care l-am descris mai sus.

Cred că cel care înțelege bine cauzele îmbătrînirii premature poate depăși obstacolul pe care îl reprezintă vîrsta. De altfel, nici eu nu sînt indiferent față de această problemă și, apărînd interesele vîrstei mele, pot greși.

Un lucru este însă neîndoielnic: atunci cînd un om devotat științei simte, din cauza vîrstei sau a bolii, o slăbire a fanteziei și a capacității sale creatoare, cînd mai poate încă lucra, dar nu atît de intens, el are o singură soluție onorabilă: să-i ajute pe elevii săi mîndrindu-se cu lucrările lor, la fel cum un fost campion, devenit antrenor, se mîndrește cu recordurile elevilor săi.



Secretele meseriei

Cînd arunci pietricele în apă, privește la cercurile pe care le fac, altfel, degeaba le arunci

Kozma Prutkov

Este posibilă oare urmărirea modului în care se produc salturile în gîndire, asociațiile neașteptate, clarificările bruște — adică urmărirea tuturor elementelor care constituie pro-

cesul de creație? Cum se poate dirija fantezia în direcția necesară? Ce procedee înlesnesc găsirea soluției? Cum a fost influențată activitatea științifică de apariția mașinilor de calcul? Care este ordinea în care trebuie planificate acțiunile pentru a ajunge mai repede și mai sigur la rezolvarea unei probleme?

Lacrimile ascunse

În cartea „*Știință și metodă*", Henri Poincaré analizează procesul creației matematice, care, după opinia lui, constă într-o succesiune de eforturi conștiente și subconștiente.

Poincaré istorisește cîteva cazuri în care, după multe eforturi sterile, abandona lucrarea, ca apoi, în timpul unei plimbări, sau în timp ce se urca în omnibuz, să-i apară brusc soluția. După aceea avea nevoie numai cîteva ore pentru a termina lucrarea. Această schemă este valabilă și în fizica teoretică și, cred eu, în multe alte domenii de creație. Cînd nu reușea să ducă o povestire la bun sfîrșit, Mihail Zoșcenko o punea deoparte spunînd: „Nu-i nimic, să se mai coacă". Cîteodată soluția vine în somn, cel mai adesea în acea stare tipică dintre somn și veghe care survine după o muncă încordată. Pe vremea cînd cercetam expulzarea electronilor din atom în ciocnirile nucleare, calitativ, totul era clar: în urma ciocnirii cu un nucleon, nucleul ia viteză într-un interval scurt de timp, iar electronii, avînd viteze mai mici decît viteza nucleului, nu reușesc să zboare o dată cu acesta, rămînînd în locul unde s-a produs ciocnirea. Dar soluția cantitativă? Cum trebuia obținută formula care să dea probabilitatea expulzării fiecăruia dintre electroni? Subconștientul mi-a oferit ideea în somn: o călăreață evoluează în arena unui circ; se oprește brusc, și florile pe care le ține în mînă zboară în public. Acest vis mi-a sugerat că trebuie să trec în sistemul de coordonate în care s-a oprit nucleul după ciocnire; în acest sistem starea electronilor era mai ușor de descris. Rămînea doar să transpun această idee în limbajul mecanicii cuantice.

Să precizăm ce este „subconștientul" și să-l separăm de noțiunea de „inconștient", acesta din urmă fiind o sferă specială a psihologiei, calitativ diferită de conștiință. „Inconștientul" — o structură psihică firească — stă la baza simbolurilor, viselor, miturilor, poveștilor, legendelor, superstițiilor. Subconștientul despre care vom vorbi este un domeniu

al psihicului vecin cu conștientul, un domeniu care conservă întreaga experiență dobîndită și care nutrește intuiția. Subconștientul activează foarte susținut, ferindu-l deseori pe om de pericole, sugerîndu-i savantului soluția, scriitorului ideea, pictorului forma. Să ne amintim splendidul episod din romanul *Garda albă* al lui Bulgakov, cînd Nikolka Turbin fuge de petliuriștii care intraseră în oraș. El aleargă prin curți de trecere și la un moment dat ajunge la un zid orb. Nu se poate întoarce căci este urmărit. „Porni să se cațere peste un morman de cărămizi sparte, apoi pe zidul abrupt al clădirii, proptindu-și vîrfurile cizmelor în scobituri atît de mici, încît altădată n-ar fi încăput acolo nici măcar un bănuț"[20]. În „vreme de pace", subconștientul tace, omul privește zidul orb în mod conștient și nu se cațără pe el. În situații limită, lucrurile se petrec invers: sîntem conduși de subconștient, de intuiție.

Eforturile conștiente de a rezolva o problemă trasează subconștientului sarcina de a căuta soluția într-un anume cerc de noțiuni. Subconștientul face o selecție din cunoștințele acumulate și mai ales din arsenalul experienței proprii, reținînd acele asociații de noțiuni care pot fi folositoare. Ele sînt supuse judecății conștientului și fie se dovedesc folositoare, fie rămîn în umbră. O particularitate a activității subconștiente este apariția necontrolată a asociațiilor. Din acest motiv, devin posibile cele mai neașteptate alăturări.

Uneori, în timpul unei nopți de insomnie, provocată de o muncă intensă, privești procesul oarecum dinafară și atunci vezi mai multe detalii, tabloul devenindu-ți mai apropiat. Poincaré și-a imaginat niște molecule care, printr-o activitate preliminară a conștientului, sînt puse în mișcare, se ciocnesc și se despart, dar cîteodată se mai și unesc una cu alta, alcătuind asociații stabile. Un alt mod: subconștientul este reprezentat ca o adunare de oameni mai mult sau mai puțin cunoscuți între ei, fiecare reprezentînd cîte o noțiune. Trebuie ca participanții la adunare să se intereseze unul de celălalt și să comunice. Trebuie știut care dintre ei s-au mai întîlnit înainte. Trebuie să simți atmosfera adunării, întrucît aici va fi găsită cheia spre ideile căutate. Desigur că tabloul prezentat este doar intuitiv. Conform principiului observabilității, anumite trăsături ale

---

[20] Mihail Bulgakov, *Garda albă*, trad. de Alexandru Calais, ELU, 1969, — *Nota trad.*

tabloului capătă valoare științifică dacă pe baza lor pot fi indicate procedee capabile să mărească eficiența procesului subconștient.

Fantezia bine temperată

Astfel de procedee există într-adevăr. Este îndeobște cunoscut faptul că rezultatele sînt mai bune dacă lucrezi pînă spre seară. Este ca și cînd ai da o temă subconștientului; dimineața te trezești cu un program clar de acțiune.

Ca să ieși dintr-un punct mort, în care ai ajuns încercînd să rezolvi o problemă dificilă, este necesar, ca prin eforturi conștiente, repetînd de mai multe ori raționamentele și calculele, să cunoști pe de rost argumentele „pentru" și „contra", astfel încît să poți face calculele nu pe hîrtie, ci în minte. O astfel de pregătire ușurează atît de mult misiunea subconștientului, încît soluția vine foarte curînd de la sine. Raportul dintre activitatea conștientă și cea subconștientă, dintre analiză și intuiție se poate dirija în mod conștient. Pentru a mări ponderea controlului, se poate lucra în colaborare cu un cercetător cu un simț critic foarte dezvoltat, iar pentru stimularea intuiției, se poate alege o persoană înclinată spre fantezie.

Pentru ca intuiția să se poată manifesta, este bine ca pentru un timp să faci abstracție de dificultăți și să te lași în voia fanteziei. În cazul unei invenții, cînd trebuie să cauți o mulțime de variante ale soluției, este foarte folositor „să visezi cu ochii deschiși", uitînd un timp de greutățile realizării tehnice propriu-zise.

Pentru a forma la studenți capacitatea de a alterna eforturile conștiente cu cele intuitive, sînt utile lecțiile improvizate, în cadrul cărora lectorul încearcă să clarifice cu ajutorul studenților o problemă nouă chiar și pentru el însuși, arătînd pe viu cum trebuie soluționată. În acest caz, devine evident modul în care soluția este dictată de însăși logica problemei.

Cred că o metodă eficace de a-i învăța pe cei tineri fizica teoretică este să lucrezi în prezența lor. La început, ei doar „urmăresc cu atenție", străduindu-se să înțeleagă dificultățile și împlinirile. Apoi devin participativi, formulează întrebări și opinii, încep dispute și, în sfîrșit, vine momentul cînd studentul are idei proprii și cînd se conturează problemele pe care le poate rezolva independent. Aceste activități dau roade nu atît în privința deprinderii procedeelor tehnice, cît în parcurgerea împreună cu profesorul a întregului drum sinuos, cu toate suișurile și coborîșurile, de la ideea inițială pînă la lucrarea încheiată.

Probabil că la fel ar putea fi educați și alpiniștii începători, dacă tehnica securității n-ar interzice cu desăvîrșire sportivilor de categoria a III-a să iasă împreună cu maeștrii pe un traseu de gradul al V-lea de dificultate. Atitudinea elevului față de profesor amintește de atitudinea copiilor față de părinți — inițial respect exagerat și chiar admirație. Această perioadă este și cea mai rodnică, căci elevul își însușește toate sfaturile profesorului. Apoi apare o apreciere mai lucidă, o atitudine critică. Uneori survine răceala, sau chiar înstrăinarea. Atunci învățarea nu dă rezultate și separarea temporară e mai utilă. Cu timpul, înstrăinarea dispare și locul ei este luat de dragostea matură, care este mai echilibrată.

Cel care a realizat măcar o dată ceva ce era la limita posibilităților lui, sau, aparent, chiar dincolo de aceasta, știe că nu există decît un singur drum spre succes, acela al eforturilor susținute, fără retrageri, prin rezolvarea unor probleme auxiliare, prin abordarea multilaterală și înlăturarea tuturor obstacolelor și oricăror alte preocupări, pînă la atingerea stării de extaz (sau de inspirație), cînd conștientul și subconștientul se întrepătrund, cînd gîndirea conștientă se continuă în somn și cînd subconștientul acționează și în starea de veghe... Acest extaz este destul de periculos, fiind învecinat cu tulburarea psihică, cu acea stare descrisă de Cehov în nuvela *Călugărul*. Einstein scria că în perioada elaborării teoriei relativității avea chiar halucinații. Dar o

astfel de situație apare rareori. Pentru a se ajunge aici este nevoie de o serie de coincidențe puțin probabile: existența unei probleme dificile, care să te capteze total, sentimentul că tu ești cel care poți și trebuie s-o rezolvi, stăpînirea tehnicii permițînd rezolvarea, experiența soluționării unor probleme de același gen, dar mai ușoare, o sănătate de fier, pentru a rezista la insomniile îndelungate, și, în sfîrșit, să nu te preocupe nimic altceva. Dar mai ales trebuie să ai marele curaj de a crede în rezultatul obținut, oricît s-ar deosebi el de ceea ce este îndeobște acceptat, de a nu te speria de concluziile proprii, ci de a le duce pînă la capăt. Cît de multe lucrări admirabile n-au fost abandonate din lipsă de curaj!

Stilul activității științifice

Indiferent de domeniu, procesul de creație prezintă trăsături asemănătoare. Creația artistică, așa cum a fost ea descrisă de pictori și poeți, este foarte apropiată de creația din matematică, descrisă de Poincaré. Se aseamănă chiar și metodele de rezolvare a unei probleme. Vizitînd atelierul unui sculptor, I.I. Pomeranciuk a spus: „În artă, ca și în știință, trebuie să știi ce anume nu prezintă importanță".

Între adevărul conținut în opera de artă și adevărul la care aspiră știința există însă o deosebire de principiu. Sarcina artei este de a privi lumea cu ochii artistului, de a cunoaște legătura dintre natură și om. Această sarcină este necesarmente subiectivă și opera de artă trebuie să conțină trăsăturile individualității creatorului ei.

Sarcina științei este de a descoperi legile obiective ale naturii și, de aceea, rezultatul final nu depinde de calitățile individuale ale omului de știință. Dar obiectivitatea științei dispare în momentul cînd se trece de la țelul final la căile de realizare ale lui, la metodologie. Fiecare om de știință are propriul său stil de cercetare, maniera sa personală de a aborda problemele. Mai mult, stilul și modul de abordare determină și caracterul problemelor pe care le studiază. În acest caz, individualitatea omului de știință se manifestă la fel ca individualitatea arhitectului, care exprimă tendința către armonie în cadrul unei activități concrete.

Cum se manifestă însă individualitatea stilurilor în fizica teoretică? Există fizicieni pentru care nu este important cum se obține rezultatul, numai scopul să fie atins, dar există

și alții (meritînd, după părerea mea, mai mult respect) cărora le place metodica teoriei și care reușesc să obțină rezultatul nu pe căi artificiale, ci într-un mod cît mai adecvat scopului. Procedînd astfel, înțelegerea este mai profundă, și prin urmare, rezultatele mai exacte. Există fizicieni teoreticieni „abstracți", care pot să rezolve probleme fără o legătură directă cu experimentul și fizicieni teoreticieni, care lucrează în contact strîns cu experimentatorii. Activitatea acestora din urmă constă în mare parte în analiza teoretică a experimentelor făcute, sau care urmează a fi făcute. Alături de teoreticienii care preferă o abordare strict matematică (posibilă, din păcate, numai rareori în fizica teoretică) există teoreticieni pentru care este mai important demersul calitativ, în cadrul căruia rezultatele se obțin la început pe modele simplificate și cît mai concrete.

Dintre fizicienii sovietici, cel care știa ca nimeni altul să aplice metoda adecvată problemei a fost Lev Davidovici Landau. Regretatul academician Vladimir Aleksandrovici Fok formula problemele cu o maximă rigurozitate. El a obținut rezultate deosebit de importante în mecanica cuantică, rezolvînd probleme ce permiteau o formulare strict matematică. Igor Evghenievici Tamm îmbina mai multe stiluri: uneori aborda lucrări consacrate studiului unor modele aproximative ale fenomenului, alteori, la fel ca Landau, studia o problemă fizică complicată folosind metode aproximative. Nikolai Nikolaevici Bogoliubov reprezintă un exemplu rar de îmbinare a două profesii: matematician și fizician teoretician. El cercetează cu maximă rigurozitate modele voit simplificate ale fenomenului. Isaak Iakovlevici Pomeranciuk era preocupat de problemele și teoria unor fenomene care să dezvăluie cele mai adînci proprietăți ale lumii fizice. De aceea, lucrările sale erau tot timpul în avangarda științei. Iakov Ilici Frenkel a exercitat o mare influență asupra dezvoltării multor domenii ale fizicii teoretice. El este autorul unui mare număr de idei fizice, pe care le-a formulat, dar pe care nu le-a finalizat, limitîndu-se la examinarea calitativă a problemelor.

Cum e și firesc, omul de știință care preferă, de exemplu metoda riguroasă, formal-matematică de cercetare, va atrage prin lucrările sale pe tinerii cu o formație matematică. Se constituie astfel un grup de oameni uniți prin stilul lor general de cercetare și prin problemele comune ce decurg de aici. Așa apar școlile științifice. Și deși reprezentanții diferitelor

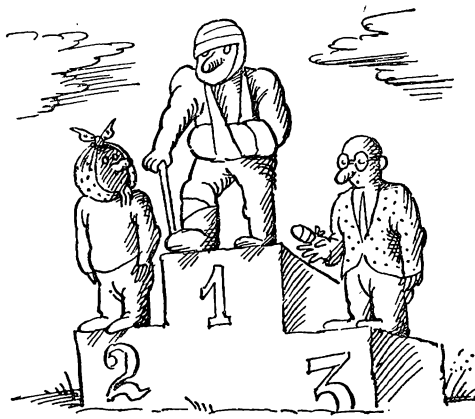
școli consideră deseori stilul lor drept singurul corect, diversele direcții se stimulează și se completează reciproc. Spre deosebire de artă, în știință adevărul nu depinde de modul în care îl abordezi.

Lucrări „certe" și „incerte"

Oare este obligatoriu ca cercetătorul să aibă un stil, să aparțină unei școli, oare cu timpul el se schimbă? Problemele alese și modul de abordare se schimbă o dată cu creșterea calificării, cu perfecționarea tehnicii și cu îmbogățirea experienței omului de știință. La începutul drumului în știință, este bine să eviți lucrările insuficient conturate și problematice. Trebuie mai întîi să acumulezi experiență și să-ți însușești tehnica rezolvînd probleme nu prea complicate. Este îndeobște cunoscut că o lucrare care „a ieșit", care a fost dusă la bun sfîrșit, contribuie mult mai mult la formarea cercetătorului științific decît zece lucrări abandonate la jumătate, din cauza unor dificultăți insurmontabile. Trebuie început cu lucrări „sigure", care nu reclamă introducerea unor presupuneri nedemonstrate sau nedemonstrabile, ci sînt consecințe ale unor rezultate anterioare. Un cercetător începător n-are dreptul la lucrări greșite.

Dar, pe măsură ce se acumulează experiență și numărul de lucrări duse la bun sfîrșit crește, atitudinea față de lucrările „incerte" trebuie să se schimbe.

Se cuvine oare ca un om de știință care se respectă să se mîndrească pentru că n-a făcut niciodată lucrări eronate? Nu e vorba de greșeli grosolane, adică de calcule incorecte, sau de folosirea de recipiente murdare. Asemenea greșeli grosolane sînt o adevărată rușine și trebuie tratate ca atare. Mă refer la presupunerile plauzibile dar nefundamentate, a căror incorectitudine este pusă în evidență numai de dezvoltarea științei. Absența lucrărilor greșite atestă, pe de o parte, înalta corectitudine științifică și intuiția omului de știință, iar pe de altă parte, poate atesta lipsa de perspectivă și de curaj. Nu poate fi un bun schior, sau un bun motociclist cel care n-a căzut niciodată, care deci nu a ajuns la limita posibilităților sale. De fapt, tocmai lucrările „încerte", atunci cînd sînt confirmate de dezvoltarea științei, devin și cele mai interesante, deoarece permit verificarea presupunerilor de la care au pornit.

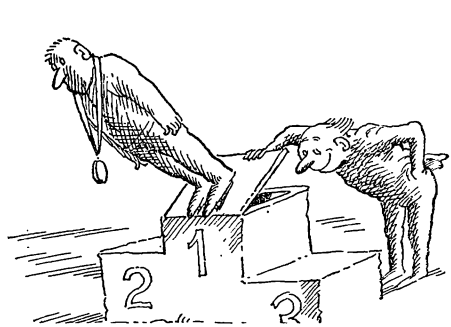


Dimpotrivă, lucrările absolut certe, care decurg nemijlocit din rezultatele obținute anterior, adesea nu contribuie la progresul substanțial al științei. Aici trebuie avut în vedere și raportul dintre teorie și experiment, care provoacă multe dispute între fizicienii teoreticieni și fizicienii experimentatori. Concordanța dintre teorie și experiment nu este unicul criteriu — și nici măcar principalul criteriu — de apreciere a teoriei. O lucrare teoretică bună este o concluzie convingătoare a cuceririlor precedente ale științei, obținute ca rezultat al unui număr uriaș de experimente verificate de mai multe ori. Dacă o lucrare teoretică bună nu concordă cu experiența, aceasta înseamnă că trebuie reconsiderate presupunerile care stau la baza ei, și că s-a produs o anumită descoperire, de mai mică, sau mai mare importanță. Dar concordanța unei teorii greșite cu experiența nu face de loc teoria mai convingătoare. Calitatea teoriei poate fi judecată după cît de convingător și de necontradictoriu este alcătuită.

Teoriile „incerte", dar convingător formulate, influențează dezvoltarea științei chiar și atunci cînd presupunerile pe care se bazează se dovedesc pînă la urmă eronate. Aș dori să evoc aici o lucrare interesantă a regretatului academician I.E. Tamm, care a influențat puternic fizica particulelor elementare. Pe vremea aceea — era în 1934 — de-abia apăruse teoria dezintegrării beta, propusă de Enrico Fermi. Această teorie indica mecanismul transformării neutronului în proton cu emiterea unui electron și a unui neutrino. Bazîndu-se pe acest mecanism, Tamm a construit teoria forțelor nucleare, adică a forțelor care țin legați nucleonii

— neutronii și protonii — în nucleu. Ideea lui fundamentală era că unul dintre nucleoni emite un electron și un neutrino, iar altul absoarbe aceste două particule. Dezvoltarea științei a demonstrat că schimbul de electroni și de neutrini nu influențează aproape de loc forțele nucleare. Forțele nucleare sînt condiționate, ca în teoria lui Tamm, de faptul că nucleonii schimbă particule între ei, numai că particulele sînt altele, fiind descoperite mai tîrziu. Una dintre ele este mezonul π. Presupunerea de la care a pornit teoria n-a fost deci confirmată. Cu toate acestea, ideea că forțele nucleare sînt legate de emisia și absorbția de particule de către nucleoni s-a dovedit nu numai corectă, ci și foarte fertilă. Ea a fost dezvoltată de Hideki Yukawa într-o lucrare din 1935, în care el explica forțele nucleare prin schimbul de particule ce interacționează tare cu nucleonii. În felul acesta, el a prevăzut existența pionilor cu 14 ani înainte de descoperirea lor.

Fiecare cercetător trebuie din timp în timp să-și pună întrebarea: de ce un altul a făcut pentru știință mai mult decît mine, deși nivelul meu de înțelegere și tehnica mea matematică nu sînt mai prejos? Răspunsul este adeseori unul singur: celălalt duce la bun sfîrșit lucrări „incerte", în timp ce eforturile mele se cheltuiesc numai în lucrări „certe".



Stilul la sfîrșitul secolului al XX-lea

Am vorbit despre schimbarea stilului de muncă pe măsura acumulării experienței și creșterii calificării. Dar mult mai mari sînt schimbările de stil determinate de evoluția științei înseși.

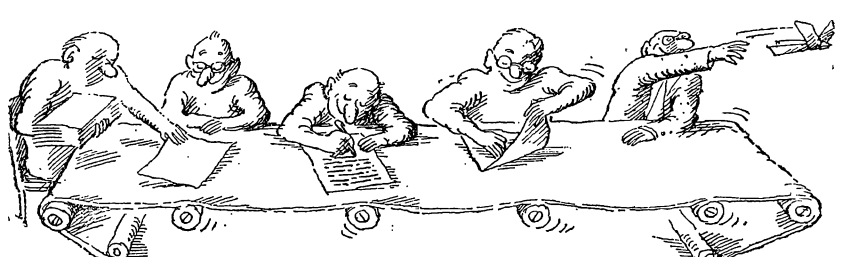
În perioadele calme ale dezvoltării științei, se impune elaborarea unor lucrări metodice, în care să se precizeze

rezultatele și să se pregătească aparatele pentru cercetările următoare, sau chiar pentru noi descoperiri. De îndată însă ce s-a făcut o descoperire majoră și a început o perioadă furtunoasă, devine importantă nu perfecționarea metodicii, ci obținerea de rezultate noi, chiar și prin procedee mai aproximative, mai puțin fundamentate.

În a doua jumătate a secolului nostru, stilul de muncă al fizicienilor teoreticieni s-a modificat în mod esențial, deși s-ar părea că nu toți fizicienii au tras din acest fapt concluziile necesare.

În fizica teoretică apare un nou tip de organizare a științei, care ar putea fi numit „creierul colectiv". Să admitem că după analiza experimentelor acumulate, sau după o anumită descoperire experimentală, apare o problemă importantă și complexă care nu poate fi biruită de un singur om. Pentru rezolvarea unor asemenea probleme, s-a elaborat tactica muncii colective.

Unii cercetători cu o structură psihică adecvată încep să producă idei — orice fel de idei, corecte sau incorecte, după metoda „visării cu ochii deschiși". Pe baza acestor idei, se încearcă explicarea parțială a fenomenului studiat. Aceste lucrări neterminate sînt publicate sub formă de preprinturi (preliminarii) după zece-douăzeci de zile. Apoi, o dată la două-trei luni, se organizează conferințe restrînse,



la care se analizează informația acumulată. Fizicienii cu simț critic atrag cu această ocazie atenția asupra locurilor vulnerabile. Discuțiile ajută să se selecteze ideile raționale. Între conferințe, fizicieni de înaltă calificare indică direcția viitoarelor cercetări teoretice și experimentale. O dată pe an, în cadrul unei conferințe mai largi, se face bilanțul activității. Ca și în cazul mutațiilor, ideile inițiale sau se fixează, sau duc la moartea teoriei. Conferințele îndeplinesc rolul

mecanismului „selecției naturale". O astfel de diviziune spontană a muncii poate face ca o idee emisă de un tînăr absolvent să fie în centrul atenției întregii conferințe. La examinarea următoarei probleme, același tînăr poate fi în rîndul fizicienilor care fac analiza critică.

Cu ajutorul acestei metode au fost și sînt studiate unele dintre cele mai importante probleme ale fizicii particulelor elementare. Menționăm, fără a intra în amănunte: simetria SU (3), quarcii, monopolii...

Nu destramă oare fizica secolului al XX-lea poezia cercetării? Nu. Rolul cercetării individuale scade, dar se naște un romantism nou, cel al cercetării colective.

Rolul mașinilor de calcul

O dată cu apariția mașinilor de calcul, s-a produs și o altă schimbare esențială în stilul fizicii teoretice.

Pe vremuri, o problemă se considera rezolvată, dacă soluția se prezenta sub forma unei combinații de funcții „elementare" cunoscute. Acest fapt se-ntîmplă foarte rar, iar cazurile respective s-au epuizat foarte repede. Mai tîrziu, s-a considerat suficient să se prezinte rezultatul sub formă de funcții special determinate pentru un anumit grup de probleme, așa-numitele „funcții speciale". Totuși, cerințele științei n-au fost satisfăcute. Au apărut metodele aproximative. Soluția se reprezintă sub forma unei serii infinite, fiecare termen conținînd funcții cunoscute. Pentru a folosi această soluție, trebuie ca primii termeni să dea un rezultat de o precizie acceptabilă. Matematicienii spun: „trebuie ca seria să fie rapid convergentă". Pentru ca termenii seriei să descrească rapid, ei trebuie să conțină puterile crescătoare ale unui parametru mic. (Parametrii sînt numerele a căror valoare determină condițiile problemei). Din acest motiv, întrebarea pusă pînă nu de mult teoreticianului era: „Care este parametrul mic din problema d-tale?". Deseori, această întrebare semnifică afirmația: Teoria d-tale este îndoielnică, întrucît nu conține un parametru mic și nu se înțelege ce rol joacă termenii neglijați din serie".

Pentru rezolvarea unei probleme cu ajutorul calculatorului nu este nevoie de un parametru mic. Ce-i drept, soluția nu este prezentată sub forma vreunei funcții de parametri (forma analitică a soluției), ci se dă sub forma unor tabele numerice. În acest fel, soluția nu se mai caută sub formă ana-

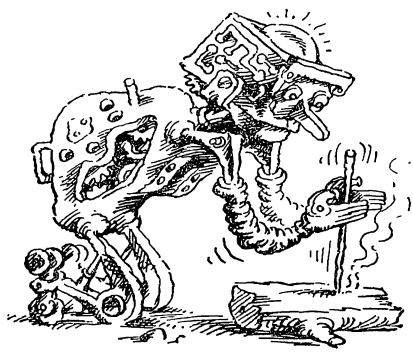
litică; o dată cu apariția mașinilor de calcul, interesul față de soluțiile analitice a scăzut, dar, așa cum vom vedea, nu a dispărut.

Exemplul extrem al abordării calculatoristice a fost oferit de un strălucit reprezentant al stilului „mașinist", fizicianul teoretician american Kenneth Wilson (Premiul Nobel în 1982). El a rezolvat la calculator așa-numita „problemă Kondo", după numele fizicianului japonez care a formulat-o. Trebuia explicată comportarea anomală la temperaturi joase a metalelor cu impurități atomice care au moment magnetic. Susceptibilitatea magnetică și rezistența electrică la temperaturi foarte joase mai întîi cresc atunci cînd temperatura scade, după care tind către o limită finită. Cercetările teoretice au arătat că la micșorarea temperaturii, rolul interacțiunii electronilor metalului cu atomii impurităților devine atît de important, încît procedeele de calcul obișnuite, care presupun o interacțiune slabă, sînt complet inutilizabile. Sînt necesare noi metode care să nu mai comporte un parametru mic. Asemenea metode au început să se dezvolte în mod intensiv sub influența problemelor apărute întîi în teoria particulelor elementare, apoi în fizica solidelor.

Cu toate acestea, încercările de a rezolva analitic problema nu dădeau rezultate. După o studiere profundă a problemei, Wilson a reușit să o formuleze astfel, încît a devenit posibilă folosirea mașinii de calcul. Pentru aflarea susceptibilității magnetice la o temperatură dată, calculatorul are nevoie de numai cîteva minute. Desigur că aceste „cîteva minute" au devenit posibile după căutări îndelungate ale metodelor de simplificare a problemei. Fără aceste căutări, calculul ar fi fost imposibil, întrucît chiar și calculatorul ar fi avut nevoie de secole. Se părea că problema este complet rezolvată. Între timp, rezolvarea „problemei Kondo" a căpătat o importanță sporită pentru dezvoltarea fizicii teoretice. Tocmai din acest motiv, și nu din necesitatea evaluării rezistenței sau susceptibilității magnetice, problema capătă o valoare euristică deosebită. Iată de ce fizicienii au întîmpinat cu atîta emoție lucrarea strălucită a tînărului teoretician sovietic Pavel Vigman care a reușit să rezolve analitic „problema Kondo" și în același timp să adîncească înțelegerea fenomenului.

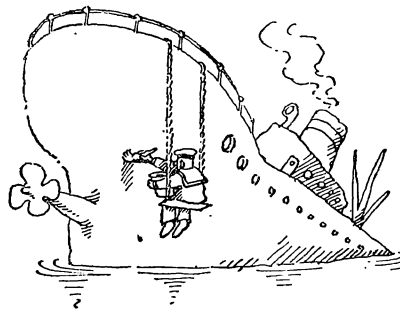
Să abordăm acum chestiunea limitelor utilizării calculatoarelor în cercetarea științifică.

De ce teoreticianul care a obținut un rezultat simplu printr-o metodă sigură, dar complicată, caută în mod obligatoriu un mijloc simplu de rezolvare pe care-l obține „plimbînd degetele pe claviatuară"? Pentru ca, în cazul unei alte probleme, unde se întîlnește o situație similară, și unde metoda complicată nu funcționează, să poată folosi mijlocul mai simplu, bazat însă pe o înțelegere mult mai profundă.



În numeroase lucrări s-a încercat explicarea proprietăților nucleului considerîndu-l un gaz de neutroni și de protoni aflați în interacțiune, aceasta din urmă fiind extrasă din analiza datelor de împrăștiere a nucleonului pe nucleon în vid. Interacțiunea este puternică, iar problema nu are un parametru mic. Obiecția parametrului mic este înlăturată prin folosirea calculatorului. Programul de calcul se poate îmbunătăți atît de mult, încît problema este rezolvată numeric, în absența parametrului mic. Dar, în acest caz, apare o greșeală grosolană: nu se ia în considerare posibilitatea apariției de noi grade de libertate colective în nucleu (gradul pionic de libertate, condensarea pionică — vezi ultimul capitol). Posibilitatea unor astfel de fenomene neașteptate trebuie luată în considerare la programare, dar pentru aceasta este necesară o rezolvare analitică preliminară, fie chiar și una mai aproximativă.

Așa dar, concluzia este clară: înainte de a te folosi de calculator, problema trebuie studiată multilateral, cu metode analitice. Metodele analitice sînt arme vechi, dar de temut, și nu-și pierd nicidecum însemnătatea.



Bunul simț

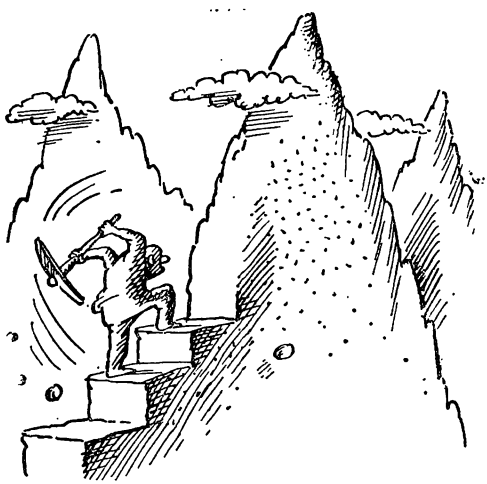
De obicei, în lucrările științifice și mai ales în manuale, se înlătură cu grijă „schela" folosită la construirea clădirii. Modul în care au fost obținute rezultatele și cum au fost înlăturate obstacolele rămîn necunoscute. Este însă esențial să se descrie detaliat raționamentele, succesele și retragerile, încercările de abordare a subiectului din diverse perspective, căci toate sînt de un real folos pentru începători. Mai mult, expunînd rezultatele finale fără a explica în ce fel s-au obținut, începătorii pot fi complexați, sau pot crede că pentru a te ocupa de știință nu este suficient să faci raționamente valabile, ci trebuie să fii dotat cu un intelect deosebit, care să îți permită să ajungi prin salturi la concluzii neașteptate. Din fericire, nu este așa.

Intelectul este un dat. Instrumentul de lucru pentru profesia științifică este, alături de intuiție și fantezie, acel bun simț după care se călăuzește orice gospodină cînd face cumpărături. Fermi punea fizicienilor începători întrebări neașteptate, cum ar fi: cîți acordori de piane sînt în Chicago? După cifra dată de cel întrebat se poate aprecia dacă el posedă sau nu ceea ce se numește bunul simț.

Înțelegerea problemelor, chiar și a celor mai complicate și mai puțin studiate, nu este rezultatul unei iluminări bruște, venite de sus, ci rezultatul unei munci susținute.

Din acest motiv, cu toate că eforturile conștiente alternează cu cele subconștiente și s-ar părea că intervine și elementul nedeterminat al intuiției, în activitatea științifică rezultatele sînt proporționale cu munca depusă, cu timpul cheltuit.

Bunul simț te ajută să-ți organizezi munca, să-ți alegi metoda de lucru, în așa fel încît să se facă numai salturi mici. Orice problemă complicată trebuie redusă la o serie de probleme mult mai ușoare. În felul acesta, înaintarea către rezultat se reduce la depășirea succesivă a greutăților relativ mai mici, este o înaintare pas cu pas.



Cum se procedează? În primul rînd, se simplifică problema la maximum, astfel încît să-i rămînă numai trăsăturile esențiale. Este incomparabil mai ușor să complici treptat o problemă, decît să rezolvi ab initio o problemă complicată. Apoi se clarifică posibilitățile de rezolvare a problemei în cazurile ei particulare-limită. În plus, înainte de a încerca obținerea rezolvărilor cantitative, trebuie găsite rezultatele mai aproximative, calitative, ceea ce este considerabil mai ușor. În sfîrșit, trebuie ca în fiecare etapă să se încerce contestarea rezultatului, folosind pentru aceasta toate relațiile cunoscute, la care, în cazuri particulare, se reduce rezultatul obținut.

Se mai impune și verificarea structurii logice a rezultatului. Decurge el oare din presupunerile făcute? Nu contrazice oare vreun principiu care să fi fost încălcat pe neobservate, în procesul deducerii? Foarte frecvent, rezultatul se aplică și în cazul unor condiții mai largi decît cele folosite la deducerea lui. Exprimat matematic, rezultatul poate fi uneori prelungit analitic dincolo de limitele presupunerilor făcute.

Oare rezultatul nu s-a obținut prea ușor? Căci există, desigur, un fel de „lege a conservării dificultăților". Dacă într-o anumită abordare apar dificultăți de principiu în calea rezolvării problemei date, atunci de regulă ele trebuie să apară la orice altă încercare. Să presupunem că s-a conceput un mod ingenios de a ocoli dificultatea. În acest caz nu trebuie să ne liniștim, ci să vedem de ce au dispărut dificultățile. De obicei, la o analiză atentă, ori reușim să rezolvăm problema și prin metoda directă, ori descoperim eroarea făcută în încercarea de a ocoli dificultatea.

Și, în sfîrșit, soluția este oare destul de frumoasă? Uneori, există și semne exterioare ale frumuseții. Dacă într-o formulă întîlnim factori numerici foarte mari sau extrem de mici, ea nu arată frumos. O formulă cu factori numerici absurzi, trebuie să fie suspectă de o greșeală. Foarte des, expresiile „urîte" se dovedesc a fi greșite. Nu este frumos nici dacă într-o formulă există mulți coeficienți nedeterminați teoretic, care trebuie găsiți prin compararea cu experimentul. Simțul frumosului este greu de redat fără exemple complicate. Cîteodată, frumusețea exterioară constă în faptul că expresia are o formă simplă și încîntă ochii.

Unul dintre indiciile procedeelor corecte este simplificarea expresiilor intermediare complicate, ceea ce simplifică și rezultatul final, dîndu-i un aspect frumos. Un fizician spunea: „Expresiile corecte au tendința să se simplifice".

Dar mult mai importante sînt indiciile ascunse ale frumuseții. Este frumoasă expresia care leagă într-o formă simplă fenomene diferite, dacă stabilește legături neașteptate... Una dintre cele mai frumoase formule ale fizicii teoretice este formula teoriei gravitației a lui Einstein care leagă raza de curbură a spațiului de densitatea materiei. Sau ecuațiile lui Maxwell, în care sînt conținute în formă compactă informații despre toate fenomenele electrice și magnetice... Condiția frumuseții, nefiind absolută, permite găsirea și verificarea rezultatelor și descoperirea de noi legi ale naturii.

Dar despre acestea vom mai vorbi.

„Nu dau sfaturi, totuși, voi spune că..."
(dintr-o convorbire cu un prieten)

Iată, după părerea mea, succesiunea demersurilor în fizica teoretică, și, poate, nu numai aici. (În legătură cu

aceasta, recomand cititorilor admirabila carte a lui G. Pólya: *Cum rezolvăm o problemă?)* Este bine să începi prin a încerca să rezolvi o problemă înainte de a-i studia bibliografia. O primă cunoștință cu problema, fără idei preconcepute, dictate de lucrări anterioare, primele evaluări calitative ale ordinelor de mărime pentru mărimile așteptate, primele căutări ale căilor de rezolvare, determină în multe privințe mersul ulterior al lucrării. Se creează o atitudine activă față de studierea bibliografiei (al doilea stadiu al lucrării). Studiul pentru acumulare este întotdeauna mai puțin eficient decît studiul dirijat către un scop, privit sub un anume unghi. După această etapă, sau chiar concomitent, se clarifică și limitările impuse rezultatului final de principiile generale ale fizicii teoretice, de exemplu de legile de conservare. Mai departe, se impune tentativa unei soluții calitative aproximative, pentru diferite valori ale parametrilor problemei. Urmează încercarea de a găsi o soluție cantitativă pentru cazurile limită, cu acele valori ale parametrilor pentru care are loc o simplificare esențială. Apoi survine probabil cea mai importantă și cea mai dificilă parte a lucrării: rezultatele obținute sînt analizate și criticate prin toate metodele despre care am vorbit. Dacă toate rezultatele rămîn în picioare, se poate întreprinde și ultimul efort — obținerea rezultatului cantitativ pe cale analitică sau cu ajutorul mașinilor de calcul. Și, desigur, în toate stadiile, se impune ca lucrarea să fie dezbătută cu toți cei care se ocupă de ea, sau de probleme înrudite. Lucrarea este gata cînd este publicată. Manuscrisul pregătit pentru tipar trebuie „pus la păstrat" un timp și apoi recitit. Durata acestei perioade rămîne la aprecierea autorului.

Cîteodată greșeala se vede dintr-o dată

Ce rigori impun soluționării unei probleme teoremele generale ale fizicii teoretice?

Într-o zi însorită de iarnă, un grup numeros de schiori se prăjea la soare pe vîrful Kohta, la Bakuriani. Tinerii se bucurau și erau uimiți de culoarea albastră a cerului. Unul dintre ei a spus: „Culoarea albastră a cerului se explică prin legea lui Rayleigh, conform căreia difuzia luminii este proporțională cu puterea a treia a frecvenței, iar lumina albastră, avînd frecvență mai mare, difuzează mai puternic". Ca fizician, n-am putut să rabd. „Difuzia luminii este un

fenomen reversibil și deci nu poate conține termeni cu puteri impare ale frecvenței, iar legea lui Rayleigh conține nu puterea a treia, ci puterea a patra a frecvenței. Dacă am admite în difuzie o putere impară a frecvenței, am încălca legea reversibilității în timp a fenomenelor naturii și deci, întreaga termodinamică..." Intervenția aceasta mi-a ridicat mult prestigiul, destul de șifonat de nepriceperea mea la schi alpin.

O asemenea teoremă există efectiv: în afară de interacțiunile slabe, despre care vom vorbi ceva mai tîrziu, toate ecuațiile fizicii și prin urmare, și toate fenomenele naturii descrise de ele nu se modifică la schimbarea semnului timpului, au același aspect, indiferent dacă sînt privite din trecut spre viitor, sau din viitor spre trecut. Din această proprietate rezultă că mărimile reversibile pot fi numai funcții pare de frecvență.

Analiza logică

Ca exemplu de analiză logică a structurii unei demonstrații vom examina demonstrația teoretică a faptului că toate corpurile cad cu aceeași viteză.

Demonstrația a fost efectuată de Galilei în celebra sa carte *Dialoguri și demonstrații matematice privind două noi ramuri ale științei* (1638). Respingînd afirmația lui Aristotel, după care corpurile mai grele cad cu o viteză mai mare, Galilei face următoarele raționamente: să presupunem că Aristotel are dreptate și că un corp greu cade mai repede. Să legăm două corpuri, unul greu și altul ușor. Tinzînd să cadă mai repede, corpul greu îl va accelera pe cel ușor, iar cel ușor, tinzînd să cadă mai încet, îl va frîna pe primul. Din acest

motiv, cele două corpuri legate trebuie să cadă cu o viteză intermediară. Dar ele sînt mai grele decît fiecare în parte și se vor mișca deci nu cu o viteză intermediară, ci cu o viteză mai mare decît viteza celui mai greu. Astfel a apărut o contradicție, deci ipoteza era incorectă.

La fel poate duce la o contradicție și ipoteza inversă, după care corpurile ușoare cad mai repede decît cele grele. Se poate repeta raționamentul și legînd două corpuri identice. Ele nici nu se accelerează unul pe altul și nici nu se încetinesc și trebuie să se miște cu viteza fiecăruia dintre ele; prin urmare, corpul cu greutatea dublă se mișcă cu aceeași viteză. Deci, toate corpurile cad cu aceeași viteză.

Acum trebuie să medităm. La prima vedere, avem de-a face cu o demonstrație strict logică a faptului că toate corpurile cad cu aceeași viteză. Dar, pe de altă parte, această concluzie nu poate fi obținută pe cale speculativă, fără a apela la niște fapte experimentale. Întrebuințînd limbajul contemporan, se poate afirma că în demonstrație este într-un anume fel folosită informația obținută din experiențele lui Galilei, în decursul cărora se constatase căderea cu aceeași viteză a corpurilor de greutăți diferite.

Deocamdată nu înțelegem structura logică a acestei demonstrații și deci nu sîntem convinși de corectitudinea ei.

Întrucît presupunerea conform căreia corpurile cu greutate mai mare cad cu viteză mai mare este acceptabilă logic, avem dreptul să folosim raționamentul lui Galilei, ca să stabilim ce fapte contrazice el. În acest caz, alăturarea unui corp mic la unul mare nu trebuie să-l încetinească, ci să-l accelereze, deoarece corpul obținut prin alăturare trebuie să cadă cu viteză și mai mare. Pe de altă parte, dacă două corpuri sînt legate cu un fir lung și subțire, ele vor avea tendința să se miște ca și cînd ar fi independente, corpul mai greu tinzînd să cadă mai repede, iar cel ușor frînîndu-l. Dar prin alăturare corpul mai mic trebuie să-l accelereze pe cel mare. Aceasta înseamnă că viteza de cădere a corpurilor depinde de cît de puternic sau de slab sînt legate cele două corpuri.

Din experimentele de cîntărire se știe că greutatea unui corp este egală cu suma greutăților părților din care este constituit, independent de modul în care sînt legate acestea între ele. Prin urmare, deși greutatea corpului obținut prin asocierea mai multor corpuri nu depinde de modul lor de legare, potrivit supoziției noastre, viteza de cădere ar fi totuși dependentă de această circumstanță. Aceasta însă con-

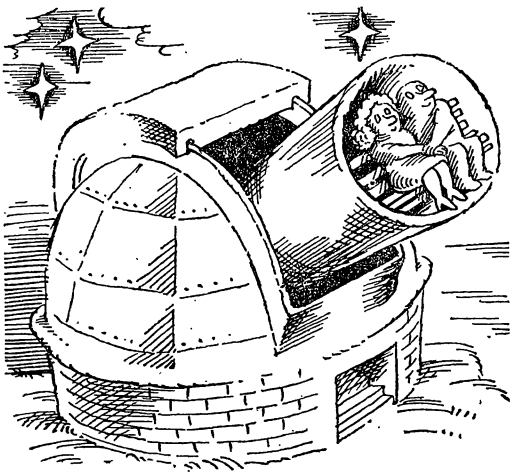
trazice toate experiențele lui Galilei privitoare la căderea corpurilor pe planurle înclinate, care au stabilit că viteza de cădere este determinată în mod univoc de forță și prin urmare nu depinde de modul în care sînt legate între ele părțile. Așa dar, demonstrația lui Galilei nu este o construcție pur logică, ea conține și fapte experimentale ale timpului respectiv.

În încheiere, să încercăm să folosim în demonstrație ideea simplificării extreme.

Forța motrice în știință nu trebuie să fie dorința de a săvîrși o cotitură, sau de a obține un succes, ci curiozitatea, capacitatea de a te uimi și de a te bucura de fiecare succes cît de mic și, mai ales, să simți frumusețea științei. Este necesar să-ți educi o conștiinciozitate ireproșabilă și să ai capacitatea de a reduce orice problemă, oricît ar fi de complicată, la simplitatea și claritatea extreme. Trebuie să ai capacitatea de a ieși dintr-o mulțime de contradicții psihologice. Să te conduci după intuiție, dar să nu te bazezi pe ea. Să fii conștient de toate greutățile, dar să știi din cînd în cînd să te detașezi de ele. Să crezi în rezultat, dar să-i cauți în același timp dovezile contrare. Să-ți găsești un stil propriu de lucru, dar să ți-l schimbi pe măsura acumulării experienței și o dată cu fiecare mare descoperire. Pe scurt, trebuie înțeles totul „pînă la fundament, pînă la rădăcină, pînă la esență" cum spunea Pasternak.

Versurile încep cu cuvintele „În toate-aș vrea să merg pînă la esență. În muncă, în căutarea drumului, în sentimente..."

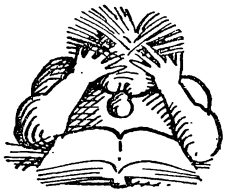
Fie ca aceste versuri să le slujească drept călăuză celor care s-au decis să se consacre științei.



DESPRE FRUMUSEȚEA ȘTIINȚEI

Nu este de mirare că adevărul este minunat, căci adevărul reflectă frumusețea și armonia Universului. Mai mult, ceea ce este frumos se dovedește deseori a fi și adevărat. Cînd un matematician sau un fizician reușește o construcție elegantă, aproape întotdeauna aceasta fie rezolvă problema pusă, fie devine utilă unor probleme viitoare. Vom ilustra situația prin exemplul uneia dintre direcțiile principale ale fizicii contemporane — căutarea simetriilor spațiului și a simetriei interne a particulelor elementare. Dar mai întîi trebuie înțeles ce este frumusețea în știință și cum anume, căutînd frumusețea, ne apropiem de cunoașterea naturii.

În căutarea frumuseții



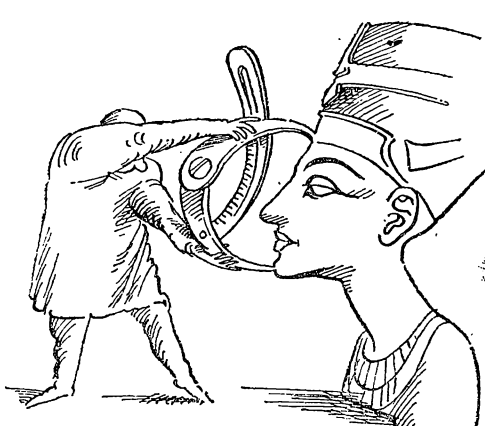
Oricît ar vrea viața să ne-nvețe,
Tot de minuni ni-e cugetul convins:
Există o nepieritoare frumusețe
Și-o forță ce renaște de ne-nvins.

F. Tiutcev

Ne putem oare mărgini la frumusețea exterioară, sau trebuie căutată și frumusețea mai adîncă, purtătoare de semnificații mai profunde? În ce constă frumusețea construcțiilor logice? Cele mai importante direcții ale fizicii secolului al XX-lea sînt căutările pentru descoperirea simetriei și pentru revelarea unității lumii.

Algebra și armonia

Ce este frumusețea? Deseori, considerăm frumos tot ceea ce corespunde normelor și idealurilor vremii noastre. Fiecare epocă are însă idealurile și modele sale. Dar există și o frumusețe nepieritoare, fără bătrînețe, la care omenirea trebuie să se întoarcă. Niciodată nu vom înceta să ne bucurăm de proporțiile Parthenonului, de armonia și unitatea cu natura a bisericii Sfîntului Giulgiu de pe Nerli... Mă întristez ori de cîte ori aud fraza „Gusturile nu se discută". Nu sînt de acord;



este uimitor cît de mulți oameni apreciază la fel frumusețea. Și se mai poate adăuga un lucru: toți cei care nu fac parte din această majoritate, nu sînt unanimi în părerile lor. Așa se poate demonstra obiectivitatea noțiunii de frumos.

Ne putem oare mărgini la perceperea exterioară a frumuseții? O putem aprecia oare măsurînd cu o riglă gradată raportul dimensiunilor? Dincolo de frumusețea pur exterioară a unui chip, noi căutăm însă frumusețea spirituală, noblețea și tensiunea gîndurilor.

Atît în arta figurativă, cît și în cea nonfigurativă, importanța unei opere este determinată de măsura în care depășește ea cadrul unei receptivități exterioare, de profunzimea armoniei părților ce o compun.

Regretatul meu prieten, sculptorul Aleksei Zelenski spunea: „Cînd merg cu metroul privesc picioarele celor care stau jos. Pe urmă, îmi ridic privirea și constat: acesta-i deci capul! Numai după ce ai înțeles de ce omul cu un astfel de cap are asemenea picioare, poți să faci un portret". Valeri Briusov scria: „Există legături subtile, puternice între aspectul și mirosul unei flori". Această interacțiune a părților uneori încîntă privirea, ca în *Sărutul* lui Rodin, în picturile lui Rafael sau Watteau, dar poate fi și tensionată și tragică, ca la „Sclavii" lui Michelangelo, sau în picturile lui El Greco și Goya.

Iată ce scria Osip Mandelștam:

O, însă cît ești de măreață, tu, citadelă
Enorme, coastele-ți le-am învățat pe dinafară,
Gîndindu-mă adesea că: dintr-o potrivnică povară,
Și eu cîndva am să adaug, la frumusețe, poate, un dram[21].

În dicționarul Larousse, frumosul este definit drept ceea ce „ne încîntă ochii sau mintea".

Vorbim deseori despre frumusețea muzicii lui Mozart, sau a versurilor lui Pușkin, dar ce putem spune oare despre frumusețea științei, a construcțiilor mentale imposibil de desenat pe hîrtie, de sculptat în piatră, sau de transpus pe note?

Ca și în cazul artei, frumusețea științei se definește prin potrivirea și legătura reciprocă dintre părțile care formează un întreg; ea reflectă armonia lumii înconjurătoare.

---

[21] Osip Mandelștam, *Silentium*, Editura Univers, 1980. — *Nota trad.*

Iată ce spunea Henri Poincaré în cartea sa *Știință și metodă:* „Dacă natura n-ar fi atît de minunată, nici n-ar merita s-o cunoaștem, iar viața n-ar merita să fie trăită. Am în vedere, desigur, nu frumusețea care îți sare în ochi (...), ci acea frumusețe profundă, care se dezvăluie în armonia componentelor sale și care este accesibilă numai rațiunii. Ea constituie solul fertil, cadrul pentru jocul culorilor și e destinată să ne încînte simțurile. Fără acest suport, frumusețea impresiilor trecătoare ar fi nedesăvîrșită, ca tot ceea ce este lipsit de importanță și efemer. Dimpotrivă, frumusețea intelectuală oferă satisfacție prin sine însăși".

Frumusețea construcțiilor logice

Frumusețea despre care vorbește Poincaré nu este numai o reflectare a armoniei lumii materiale, ci și o însușire proprie construcțiilor logice. Logicul este unul dintre obiectele cunoașterii, iar obiectivitatea sa este demonstrată de caracterul general obligatoriu al concluziilor logice. Frumusețea logică este tot atît de obiectivă ca și frumusețea legilor fizicii. Se întîmplă deseori să constatăm că o teorie este „elegantă" chiar și în cazul cînd predicțiile ei nu s-au confirmat experimental. Aici, prin „eleganță" înțelegem ingeniozitatea argumentației, stabilirea de legături neașteptate, bogăția și importanța concluziilor obținute cu un minim de supoziții plauzibile. Într-un cuvînt, este vorba despre tot ceea ce reflectă frumusețea legilor rațiunii.

În forma ei cea mai pură, frumusețea construcțiilor logice se dezvăluie în matematică. Astfel, matematica studiază toate geometriile posibile ale spațiului cu un număr arbitrar, sau chiar infinit de dimensiuni. Valoarea matematică și frumusețea rezultatelor sînt independente de geometria care se aplică în lumea noastră tridimensională.

Unul dintre exemplele uimitoare de frumusețe matematică este „algebra propozițiilor" sau „algebra logicii", care permite să se analizeze legile și posibilitățile concluziilor logice.

Ideea de a face raționamente complicate folosind o succesiune de elemente simple, independente de natura obiectelor despre care este vorba, aparține lui Aristotel. Ulterior, această idee a fost dezvoltată de Leibniz, care a încercat să dea logicii aristotelice o formă algebrică. Dar transformarea ei într-o teorie încheiată a trebuit să aștepte pînă la jumă-

tatea secolului trecut (vezi N. Bourbaki[22], *Eseuri de istorie a matematicii*, Moscova, 1963).

Algebra obișnuită, care se predă în școală, nu este unica posibilă. Dacă veți vedea deci o carte intitulată „Algebre Lie", să nu credeți că pluralul este o greșeală de tipar.

Noțiunile de adunare și înmulțire a obiectelor se pot defini renunțînd la axiomele algebrei obișnuite, cum ar fi de exemplu comutativitatea înmulțirii, care stipulează că produsul nu depinde de ordinea factorilor. Se obține astfel o altă algebră. În consecință, analiza relațiilor din această algebră este determinată în întregime de axiomele adoptate cu privire la proprietățile operațiilor și nu depinde de aplicarea ei concretă. „Eficiența analizei nu depinde de interpretarea simbolurilor, ci exclusiv de legile după care se combină ele". Așa a sintetizat autorul cărții *„Cercetare asupra legilor gîndirii"*, George Boole, esența și forța abstracției matematice.

Boole a construit o algebră pe un sistem de axiome (sau, după cum spun matematicienii, a „cercetat structura" algebrei), care descrie proprietățile propozițiilor. Aceeași structură reprezintă totodată și algebra circuitelor electrice cu relee, fără de care este imposibilă construirea vreunei mașini electronice de calcul cît de cît complexă. Numai pe baza unei logici asemănătoare celei matematice sau simbolice este posibilă abordarea unor probleme care frămîntă atît de mult omenirea, cum ar fi examinarea posibilităților de construcție a unor mașini care gîndesc și dezvoltarea inteligenței artificiale.

Elementele algebrei lui Boole sînt judecățile simple, de genul „această carte are peste o sută de pagini" sau „protonul este compus din trei quarci". Acestea se notează cu literele A, B, C,... Două propoziții se consideră echivalente dacă adevărul uneia implică adevărul celeilalte. De exemplu, dacă A este propoziția „azi este 10 mai", iar B este propoziția „poimîine este 12 mai", atunci A = B.

Suma A + B reprezintă o nouă propoziție, care se obține prin unirea lui A și B cu conjuncția „sau", în sensul că este adevărată cel puțin una dintre ele, A sau B. Dacă A = „te iubesc", iar B = „mă iubești", atunci A + B înseamnă ori „eu te iubesc", ori „tu mă iubești", ori „noi doi ne iubim".

---

[22] Pseudonim colectiv al unor matematicieni francezi, autorii unui ciclu de monografii de mare amploare consacrat matematicii moderne. — *Nota trad.*

Pentru această operație folosim semnul plus, așa cum procedează I.M. Iaglom în cartea *Structura algebrei Boole și modelele ei* (Moscova, 1980).

Din exemplul oferit rezultă și o altă deosebire între această algebră și algebra școlară: repetarea propoziției nu înseamnă o nouă afirmație. Deci $A + A = A$.

Definim produsul AB ca pe o nouă propoziție obținută prin asocierea lui A cu B prin conjuncția „și". În exemplul nostru, C = AB are următoarea semnificație „eu te iubesc și tu mă iubești = noi doi ne iubim". Atunci, $A^2 = A$. Nu e greu de obținut relația ceva mai complexă.

$$AB + C = (A + C)\,(B + C).$$

Să introducem negația. $\bar{A}$ este negația lui A. Dacă A = = „electronul are masa mai mare decît protonul", atunci $\bar{A}$ = „electronul nu are masa mai mare decît protonul". Atunci $\bar{\bar{A}} = A$ și $\bar{A}A = 0$. Prin 0 trebuie înțeleasă o judecată falsă: electronul nu poate avea simultan o masă mai mare și mai mică decît protonul.

Ne oprim aici; aceste cîteva repere sînt suficiente pentru a înțelege în ce constă calculul propozițiilor. Cei care sînt interesați, pot consulta cu folos cartea lui Iaglom.

Este interesant să urmărim soarta autorului acestei algebre uimitoare. George Boole (1815—1864) s-a născut în Anglia într-o familie săracă. El n-a urmat cursurile nici unei instituții de învățămînt, cu excepția claselor primare într-o școală pentru săraci. A învățat singur elina și latina și la 12 ani semna în publicațiile locale traduceri din Horațiu. După ce multă vreme și-a căutat o slujbă care să-i lase și timp pentru învățătură, Boole a deschis o mică școală, în care el era singurul profesor. Din fericire, doi matematicieni influenți, D. Gregory, editorul unei reviste de matematică și A. De Morgan, profesor la Universitatea Cambridge, au apreciat originalitatea și profunzimea primelor lucrări ale lui Boole. În 1849, acesta a devenit profesor de matematică la colegiul din Cork (Irlanda). Aici s-a căsătorit cu Mary Everest, o rudă a lui Sir George Everest, președintele comitetului geodezic al Indiei, al cărui nume a fost atribuit celei mai mari înălțimi din Himalaia — Everest (Chomolungma). Una dintre fiicele lui Boole, Ethel Lilian, s-a căsătorit cu revoluționarul polonez Voynich și a devenit cunoscută ca autoare a romanului *Tăunul*. Cum se mai împletesc evenimentele și destinele!

În fizică frumusețea construcției logice este de alt fel. În matematică, corectitudinea intuiției se verifică logic, în timp ce în fizică, știință care studiază lumea înconjurătoare, judecătorul suprem este experimentul. Totuși nu este obligatoriu să se apeleze de fiecare dată la experiment pentru verificarea teoriei, căci de cele mai multe ori, teoria este confirmată sau infirmată prin analiza riguroasă a experimentelor, sau a relațiilor care decurg din acestea. Demersurile teoretice din fizică trebuie să fie în concordanță cu ceea ce știm deja despre lumea înconjurătoare. În fizică, teoria nu este o concluzie logică a axiomelor, ci o construcție edificată pe ipoteze plauzibile, care trebuie verificate. S-ar părea că acest edificiu are temelii șubrede, dar verigile slabe sînt permanent înlocuite cu unele mai puternice și astfel el devine solid.

În capitolul *Cum lucrează fizicienii*, vor fi date multe exemple de felul în care se ajunge la țintă prin metoda verificării probelor și a greșelilor. Veți vedea cît de puține temeiuri avea de Broglie pentru ideea sa genială cu privire la proprietățile ondulatorii ale particulelor, idee ce a pornit de la întrebarea: dacă lumina este și undă și particulă, de ce n-ar fi și electronul în același timp și undă și particulă? Sau alt exemplu: ecuația Schrödinger a explicat în mod strălucit proprietățile atomului, încă înainte ca, prin considerații vagi și foarte subtile, să se ajungă la sensul fizic actual al funcției de undă.

Are farmecul ei, această bîjbîială în întuneric, unde ți-e călăuză un al șaselea simț!

Matematicianul nu poate privi decît cu indignare „cum însumează fizicianul serii infinite, presupunînd că doi-trei termeni ai unei serii oferă o bună aproximație pentru toată seria, cum trăiește în general într-un imperiu al libertății, încălcînd orice «normă morală». Totodată, eficiența «vrăjitoriei» fizicienilor... îl lasă mut de uimire pe matematician". Am citat din cartea lui I. I. Manin *Matematica și fizica* (Moscova, 1979). Păcat că observațiile profunde și pline de spirit din această carte sînt adresate mai ales matematicienilor.

Eficacitatea metodelor intuitive ale fizicii explică inscripția de pe căminul din casa lui Einstein „Dumnezeu este subtil, dar nu rău intenționat". Situațiile deosebite, pe care un matematician este obligat să le ia în considerare cînd face o demonstrație riguroasă, se întîlnesc rar în lumea reală; infinitatea și discontinuitatea sînt rezultatul unor formulări simplificate sau nereușite. Într-o altă teorie, mai ela-

borată, ne putem aștepta ca aceleași mărimi să fie finite și continui pentru valori reale ale variabilelor. Și atunci, matematicianul indignat va obține pe o cale riguroasă o parte din relațiile deja cunoscute fizicienilor.

În fizică, frumusețea teoriei are o importanță aproape determinantă, căci raționamentele neverosimile devin îndeajuns de convingătoare pentru ca să se facă un experiment pentru verificarea ipotezelor. În capitolul următor, vom mai avea ocazia să facem comparație între căutarea adevărului în fizică și în matematică. Cu toate deosebirile de metode și de obiecte ale cunoașterii, fizica nu se poate dispensa de limbajul matematic și de aparatul matematic.

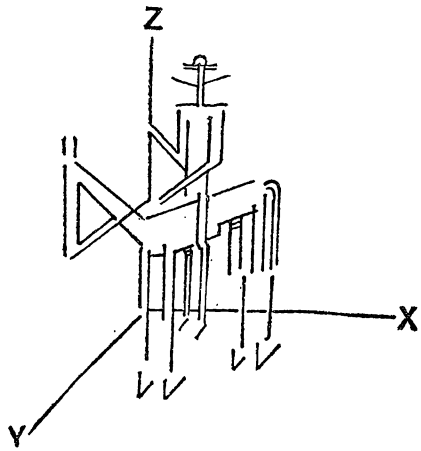
Desigur că nu toate științele naturii au nevoie de matematică în aceeași măsură ca fizica. În biologie principalul îl constituie procesele vitale, care nu pot fi reduse la niște caracteristici numerice. Ar putea fi matematizat numai acel aspect al fenomenelor biologice care este determinat de procese fizico-chimice. De altfel, într-un viitor apropiat s-ar putea să apară noi structuri matematice, care să permită formalizarea unor domenii mai profunde ale biologiei și chiar ale artei.

Frumusețea ascunsă

Nu e oare ciudat că studiind lumea relațiilor logice, matematica ne permite să pătrundem în tainele lumii materiale? Frumusețea fizicii se dezvăluie pe deplin numai cu ajutorul matematicii.

Teoria relativității a apărut în urma revizuirii profunde a noțiunilor de timp și spațiu. Aproape că nu a fost nevoie de matematică. Dar teoria dobîndește o frumusețe desăvîrșită, dacă este privită ca o consecință a simetriei naturii față de rotațiile din spațiul cvadridimensional, unde cea de-a patra dimensiune o constituie timpul. Cu toată profunzimea și claritatea ideilor care le stau la bază, ecuațiile teoriei gravitației nici nu pot fi concepute fără descrierea mărimilor în spațiul cu proprietăți geometrice care se modifică de la un punct la altul.

Dmitri Ivanovici Mendeleev a descoperit o simetrie uimitoare a proprietăților chimice, dar adevărata frumusețe a tabelului lui Mendeleev s-a relevat numai după apariția mecanicii cuantice, cînd s-a descoperit natura acestei simetrii.



De ce oare simetria care explică independența energiei atomului de hidrogen față de momentul cinetic se poate pune în evidență, așa după cum a arătat V.A. Fok, numai în spațiul ajutător cvadridimensional și numai după niște transformări complicate?

Care este motivul pentru care electrodinamica cuantică devine deosebit de frumoasă și de simplă, dacă pozitronul se descrie ca un electron care se mișcă înapoi în timp, deși, în realitate, orice obiect fizic se mișcă numai înainte în timp? Acest fapt i-a dat dreptul eminentului fizician american John Wheeler să emită ideea năstrușnică, dar frumoasă și seducătoare, conform căreia toți electronii și pozitronii din lume sînt o proiecție pe planul timpului — o secțiune momentană — a ghemului de mișcări înainte și înapoi ale unui electron unic. În discursul rostit cu prilejul primirii premiului Nobel, Feynman a evocat discuția cu Wheeler: „Feynman, eu știu de ce toți electronii au aceeași masă și aceeași sarcină!" „De ce?" „Pentru că de fapt toți sînt unul și același electron!".

Dintr-un motiv anume, natura își ascunde o parte a frumuseții de privirile insistente ale fizicienilor și permite să fie întrezărită numai cu ajutorul celor mai complicate construcții matematice. De ce este matematica un instrument atît de exact și de neînlocuit, care dezvăluie frumusețea științelor experimentale? Nu înseamnă oare aceasta că matematica nu studiază lumea construcțiilor logice numai pentru ea însăși, ci, prin lumea logicii, toate realizările lumii mas

teriale; nu numai Universul nostru unic și nu numai legile care îl guvernează, ci toate legile posibile care s-ar fi putut realiza în cazul altor condiții inițiale sau în alte universuri?

Frumusețea construcțiilor logice din știință este analogă inspirației din artă. Frumusețea liniilor și a culorilor din „Sf. Treime" a lui Rubliov este o metaforă genială a unității a trei persoane distincte; la Dostoievski, tensiunea și bogăția trăirilor sufletești fac ca proza lui dură să fie singura posibilă și deci frumoasă.

Nu greșesc oare, comparînd atît de stăruitor frumosul din știință cu cel din artă? În artă, fiecare operă este individuală și irepetabilă. Figura lui Don Juan a fost prezentată de mai mulți autori, printre care Molière, Byron, Pușkin, dar de fiecare în felul său. În știință însă, problema constă în găsirea unei legi a naturii, independentă de individualitatea omului de știință...

Și, cu toate acestea, raționalismul omului de știință se limitează la principiile cunoașterii. Modul concret în care se întreprind căutările este întotdeauna individual. Adevărul poate fi stabilit printr-o multitudine de procedee. Ca și în artă, forma de transpunere în viață a ideii reflectă bogăția vieții spirituale a autorului. Și în știință se poate recunoaște autorul unei lucrări după modul de abordare a problemei, după caracterul metodelor folosite, după ingeniozitate. Atunci cînd un om de știință valoros rezolvă fie și o problemă mai modestă, metodele pe care le-a creat continuă să acționeze și să se dezvolte în probleme mai importante.

Cum se manifestă frumusețea în știință? Voi răspunde la întrebare mărginindu-mă la domeniul meu, la fizică. Întreaga ei istorie este constituită din căutarea simetriei și unității lumii, adică din căutarea acelei frumuseți ascunse la care m-am referit mai sus.

Simetria

De obicei, prin acest cuvînt înțelegem ori simetria la reflexie, cînd jumătatea stîngă a unui obiect este imaginea în oglindă a jumătății drepte, ori simetria centrală, ca semnul antic oriental „ying și yang", sau la elice. În această accepție, simetria înseamnă invarianța obiectului la reflexia în oglindă sau la rotația în jurul centrului. Dar, să-i restituim cuvîntului semnificația sa inițială, de „proporționalitate" și vom înțelege prin aceasta invarianța nu numai pentru

obiectele însele, ci și pentru fenomenele fizice și nu numai la reflexie, ci și în cazul unei operații oarecare. Un exemplu ar fi translatarea aparaturii dintr-un loc într-altul, sau schimbarea momentului de referință al timpului. Pentru verificarea simetriei la reflexie, de exemplu, se poate aranja experimentul cu toate detaliile și aparatele așezate simetric — ca în oglindă — față de experimentul precedent. Fenomenul este simetric la reflexie, dacă ambele instalații dau rezultate identice.

Să urmărim la început modul în care se manifestă cea mai simplă simetrie — omogenitatea și izotropia (echivalența tuturor direcțiilor) spațiului. Aceasta înseamnă că orice aparat fizic: ceasul, televizorul, telefonul, trebuie să funcționeze identic în diferite puncte ale spațiului, dacă nu se schimbă condițiile fizice ale mediului. Același lucru este valabil și pentru rotirea aparatului, dacă facem abstracție de forța de greutate, care, la suprafața Pămîntului, are direcția verticală. Aceste proprietăți remarcabile ale spațiului au fost folosite încă din antichitate, atunci cînd se aplica în practică geometria euclidiană. Geometria, ca știință practică are, desigur, un sens numai dacă proprietățile figurilor geometrice nu se modifică la rotație, ele fiind aceleași și în Grecia și în Egipt.

Măsurătorile au arătat că teoremele de geometrie aplicate la obiectele fizice reale se verifică realmente cu o precizie colosală pentru corpuri de orice dimensiuni, în orice loc am întreprinde verificarea și oricum am roti corpurile. O astfel de măsurătoare a fost efectuată de „regele matematicienilor", Karl Friederich Gauss, care a verificat dacă nu cumva geometria lumii noastre nu se deosebește în cazul dimensiunilor mari de cea euclidiană. El a folosit în acest scop vîrfurile a trei munți, determinînd proprietățile triunghiului astfel format. Astăzi știm că la scara Universului și în apropierea maselor mari, geometria se deosebește de cea euclidiană. Totuși, corecțiile sînt dincolo de limitele de precizie ale măsurătorilor lui Gauss. Nu numai proprietățile geometrice, dar, în general, toate fenomenele fizice nu depind de translații sau de rotații.

Așadar, legile fizice trebuie să fie invariante față de translații și rotații. Condiția de invarianță facilitează găsirea ecuațiilor fizicii, dîndu-le și un aspect mai atrăgător.

O altă simetrie importantă este omogenitatea timpului. Toate procesele fizice decurg la fel, oricînd ar începe: ieri, azi, mîine...

Dacă o mașină funcționează anul acesta altfel decît în trecut, aceasta înseamnă că i s-au uzat piesele, sau că s-au schimbat condițiile de climă, sau că s-a întîmplat altceva, dar toate acestea nu sînt legate de abaterea de la mersul omogen al timpului.

Mersul timpului se determină prin viteza relativă a diferitelor procese din natură. Viteza unei nave cosmice poate fi comparată cu viteza luminii, sau cu viteza sunetului în aer. Mersul ceasului poate fi determinat cu ajutorul numărului de perioade de oscilație ale luminii emise de atom în timpul deplasării acului de ceas cu o diviziune. Orice măsurare a intervalelor de timp reprezintă o comparare a vitezei diferitelor procese.

Uniformitatea mersului timpului înseamnă că în orice moment, și astăzi, și peste un an, viteza relativă a tuturor proceselor din natură este aceeași.

Uniformitatea mersului timpului a fost stabilită cu o precizie colosală în cazul radiațiilor atomului. Atomii din stele emit lumină cu aceleași lungimi de undă ca și atomii de pe Pămînt, chiar dacă lumina a fost emisă acum miliarde de ani.

Legile naturii nu se modifică nici atunci cînd se schimbă sensul timpului. Aceasta înseamnă că o privire înapoi în timp ne relevă același tablou ca o privire înainte. Așa să fie? Ni s-a întîmplat să vedem cum cade un ou de pe masă și se sparge, dar n-am fost niciodată martorii întoarcerii albușului și gălbenușului înapoi în coajă, ca mai apoi oul întreg să

sară la loc pe masă. Un vechi cîntec englez spune că oul o dată spart, nu-l mai poate reface „nici toată cavaleria, nici toată oastea regelui". Și totuși, moleculele pot să-și armonizeze întîmplător mișcările, astfel încît improbabilul să aibă loc, cu toate că probabilitatea realizării este infimă, iar așteptarea minunii ar dura mai mult decît vîrsta Universului. În sistemele simple, astfel de evenimente au loc cu probabilitate mare; într-un volum redus, sub acțiunea ciocnirilor, moleculele gazului ba se adună, ba se răspîndesc, astfel încît, în medie, densitatea lor este peste tot aceeași și egală cu densitatea gazului.

Analiza profundă a fenomenelor de acest tip i-a dus pe fizicieni la concluzia că „reversibilitatea" timpului are loc nu numai în mecanică și electrodinamică, unde este vizibilă direct din ecuații, ci și în multe alte fenomene ale naturii. Deși implică ireversibilitatea în intervale cosmologice de timp (de ordinul miliardelor de ani), expansiunea Universului nu influențează în mod practic asupra experimentelor obișnuite de pe planeta noastră.

În afară de simetriile menționate, mai există și simetria la reflexie: un titirez care se învîrtește spre dreapta, se comportă la fel ca unul care se învîrtește spre stînga, singura deosebire fiind aceea că mișcările titirezului „drept" vor fi reflectarea în oglindă ale mișcărilor celui „stîng". Există molecule asimetrice la reflexie, avînd între ele același raport ca mîna stîngă și cea dreaptă, dar, dacă moleculele se formează în condiții identice, numărul moleculelor „stîngi" este egal cu numărul moleculelor „drepte".

Simetria la reflexie a fenomenelor naturale este inexactă ca majoritatea celorlalte simetrii. În interacțiunile slabe, care sînt răspunzătoare de dezintegrarea radioactivă beta, simetria de reflexie este încălcată. Chiar și în fenomenele care nu sînt legate de transformările radioactive, influența interacțiunilor slabe provoacă o mică abatere de la simetria la reflexie. Astfel, în atomi, imprecizia relativă a simetriei la reflexie este de ordinul a 10^{-15}. Totuși, influența acestei abateri infime asupra tranzițiilor între nivelele foarte apropiate nu este chiar atît de mică (fiind de ordinul a 10^{-3}—10^{-8}). În 1964, un grup de fizicieni de la Institutul de fizică teoretică și experimentală din Moscova a pus în evidență o mică abatere a forțelor nucleare de la paritate, provocată de forțele slabe (I. Abov, P. Krupciţki, I. Oratovski). În 1966, fizicienii de la Institutul de fizică nucleară B.P. Konstantinov din Leningrad (V. Lobașov, V. Nazarenko, L. Saenko,

L. Smotriţki, G. Harkevici) au determinat cu o altă metodă încălcarea parităţii. L. Barkov şi M. Zolotarev de la Institutul de fizică nucleară din Novosibirsk au reuşit să descopere acest fenomen în atom în 1978. În afară de aceasta, interacţiunile slabe duc de asemenea şi la o mică încălcare a reversibilităţii timpului.

Cea mai importantă simetrie, care a pătruns în întreaga fizică modernă, a fost descoperită la începutul secolului al XX-lea. Încă Galilei descoperise o proprietate remarcabilă a fenomenelor fizice şi anume că acestea nu depind de sistemul de coordonate în care sînt studiate, indiferent dacă sistemul este în repaus, ori în mişcare uniformă şi rectilinie.

În 1904, remarcabilul om de ştiinţă olandez, Hendrik Antoon Lorentz s-a convins că şi fenomenele electrodinamice, şi nu numai pentru corpurile care se mişcă lent, ci şi pentru cele care se deplasează cu viteze apropiate de viteza luminii, au proprietatea stabilită de Galilei. S-a clarificat totodată faptul că viteza corpurilor încărcate electric nu poate depăşi viteza luminii.

Într-o lucrare care a exercitat o influenţă imensă asupra fizicii teoretice, Henri Poincaré a arătat că rezultatele lui Lorentz semnifică invarianţa ecuaţiilor electrodinamicii faţă de rotaţiile din spaţiul-timp, adică din acel spaţiu în care, în afară de cele trei coordonate obişnuite, există încă una, cea temporală.

Dar pasul cel mai important a fost făcut de Einstein prin observaţia că simetria spaţio-temporală este universală şi că nu numai fenomenele electrodinamicii, ci şi celelalte fenomene ale naturii (fizice, chimice şi biologice) rămîn neschimbate la rotaţii. Einstein a reuşit acest lucru după o reexaminare profundă — şi nu dintr-o dată înţeleasă de contemporani — a noţiunilor noastre obişnuite de spaţiu şi timp.

Cuvîntul „rotaţie" a trebuit pus între ghilimele, întrucît nu este vorba despre rotaţia obişnuită, în care se păstrează distanţa dintre două puncte, cum ar fi distanţa de la un anume punct la originea coordonatelor.

În spaţiul cu patru dimensiuni (cvadridimensional) despre care am amintit, pe cea de-a patra axă se aşază timpul t, înmulţit cu viteza luminii, c, iar „rotaţia" lasă neschimbată nu distanţa pînă la originea coordonatelor, ci mărimea $l^2 = x^2 + y^2 + z^2 - c^2t^2 = x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 - c^2 t_1^2$, unde x, y, z, x_1, y_1, z_1 sînt coordonatele înainte şi

după rotație. O astfel de „rotație" păstrează constantă viteza luminii în diferite sisteme de coordonate.

În acest fel, toate simetriile pe care le-am examinat pînă acum se unifică într-una singură, generală; toate fenomenele naturii sînt invariante la translații, rotații și reflexii în spațiul cvadridimensional. Invarianța la translație și rotație din spațiul obișnuit se obține ca un caz particular, cînd translația nu modifică axa timpului, sau atunci cînd rotația are loc în jurul axei temporale.

Trebuie clarificată semnificația invarianței fenomenelor naturii la rotații. Toate mărimile fizice se pot clasifica după modul în care se transformă la rotație. Există mărimi care nu se schimbă de loc, acestea se numesc „scalari". Altele — vectorii — se comportă ca un segment de dreaptă dus de la originea coordonatelor pînă într-un punct oarecare al spațiului. La rotația sistemului de coordonate, lungimea vectorului nu se modifică, dar proiecțiile sale pe axele coordonatelor se schimbă după o lege cunoscută. Există și mărimi care se schimbă într-un mod mai complicat, cum ar fi produsul a doi vectori. Aceste mărimi se numesc „tensoriale".

În afară de mărimile vectoriale și tensoriale, există și altele, care se transformă la rotații tot într-un mod determinat. Am ezitat să le amintesc, de teamă să nu-l înspăimînt pe cititor cu un cuvînt necunoscut; acestea din urmă se numesc „spinori". Din spinori se poate alcătui o formă pătratică avînd proprietățile de transformare ale unui vector, sau o altă formă, scalară, care nu se schimbă la rotații. Funcția de undă a electronului se modifică la rotații ca un spinor, sau, mai concis, este un spinor. Deocamdată este suficient să știm numai cuvîntul, fără să-i dezvălui semnificația matematică. Invarianța legilor sau a ecuațiilor cere ca în toți termenii ecuațiilor — și în partea stîngă și în partea dreaptă — să fie mărimi care se schimbă la fel la rotație.

Așa cum este absurd să compari mărimi cu dimensiuni diferite, cum ar fi, de exemplu, timpul și lungimea, sau masa și viteza, este absurdă și o ecuație în care partea stîngă este un scalar, iar partea dreaptă, un vector.

Esența simetriei constă tocmai în această împărțire a mărimilor în scalari, vectori, tensori, spinori. Este clar cît de mult este înlesnită căutarea unei ecuații dacă se cere ca toți termenii acesteia să se transforme în același fel.

În capitolul următor vom vedea cum ajută evaluările dimensionale la găsirea unor relații fizice neașteptate. Clasifi-

carea mărimilor după schimbarea lor la rotație, sau la o altă operație oarecare, reprezintă pasul următor spre înțelegerea mai adîncă a naturii; păcat că programa școlară se limitează doar la primul pas — dimensionalitatea mărimilor fizice.

Simetriilor examinate pînă acum le corespund operații care nu depind de punctele din spațiu. În tot spațiul are loc aceeași deplasare sau aceeași rotație. Astfel de simetrii se numesc „globale". Se poate încerca găsirea unor ecuații și se pot descrie legile naturii, astfel încît acestea din urmă să rămînă invariante nu numai la deplasările globale și la rotații, ci și la deplasări și rotații diferite în diferite puncte. O astfel de simetrie se numește „locală".

Chiar de la aceste considerente a pornit Einstein pe cînd căuta celebrele ecuații ale gravitației, care legau geometria spațiului cu densitatea materiei. Ecuațiile gravitației apar ca o consecință a simetriei locale spațio-temporale. Aceste ecuații au unificat mecanica și gravitația; din ele, la viteze mici, se obțin ecuațiile mecanicii newtoniene.

Noi am examinat pînă acum simetriile spațio-temporale, sau, mai pe scurt, simetriile spațiale.

În ultimul timp, așa-numitele simetrii interne joacă un rol de cea mai mare importanță în fizică. Una dintre aceste simetrii este „invarianța de etalonare". Nu voi da explicații prea complicate, ci voi aminti numai că această invarianță asigură în speță, corectitudinea unei legi atît de importante, cum este legea lui Coulomb. Pînă și o mică încălcare a invarianței de etalonare în electrodinamică este incompatibilă cu ceea ce știm despre propagarea undelor radio din domeniul frecvențelor mici.

Un alt exemplu de simetrie internă îl constituie „invarianța izotopică a interacțiunilor tari". Ea explică asemănarea dintre familii întregi de particule elementare, cum ar fi neutronul și protonul. Generalizarea acestei simetrii a îndrumat fizica spre descoperirea quarcilor — particulele din care sînt alcătuite toate particulele care interacționează tare — hadronii — așa cum sînt neutronul, protonul, mezonul pi, considerate înainte drept elementare.

În cele ce urmează, mă voi referi mai amănunțit la simetriile interne și la alte simetrii. Vom vedea că legile de conservare (legea conservării energiei, a impulsului, sau a sarcinii) se obțin ca o consecință riguroasă a diferitelor simetrii.

Natura nu suportă simetriile exacte

Majoritatea simetriilor apar în urma unei oarecare idealizări a problemei. Luarea în considerare a influenței interacțiunilor mai complicate duce la încălcarea simetriei. De exemplu, independența energiei atomului de hidrogen față de momentul cinetic orbital devine inexactă, fiind ușor încălcată, dacă se introduc corecțiile relativiste la mișcarea electronului. Chiar și legile de conservare legate de simetria spațială sînt încălcate, extrem de puțin, dar sînt încălcate din cauza neomogenității Universului în timp și spațiu.

Dar există o încălcare mult mai importantă a simetriilor, numită „spontană". Exemple de astfel de încălcări de simetrii se întîlnesc la tot pasul, în viața de zi cu zi. O picătură de apă pe masă este un exemplu de încălcare a simetriei, întrucît interacțiunea moleculelor de apă între ele și cu moleculele mesei admite și o soluție mult mai simetrică și anume: apa răspîndită într-un strat subțire pe masă. Dar, pentru picăturile mici, această soluție este neconvenabilă energetic. Așadar, un sistem care are o simetrie înaltă, poate avea și soluții mai puțin simetrice. Corpurile solide sînt alcătuite din rețele de cristale, ceea ce reprezintă nu numai un exemplu de încălcare a simetriei la translație (în raport cu deplasările), ci și a simetriei la rotație. Distribuția omogenă, haotică a atomilor, ca în fluide, reflectă mai exact simetria interacțiunii. Nucleul atomic reprezintă o picătură de fluid nucleonic, fiind de asemenea un exemplu de încălcare a simetriei la translație.

Există nu numai nuclee sferice ci și nuclee „deformate", care au forma unui elipsoid, ceea ce reprezintă încălcări ale simetriei și la translație și la rotație.

Încălcarea spontană a simetriilor este un fenomen foarte răspîndit în fizica macroscopică. Totuși, acest fenomen a fost examinat foarte tîrziu în fizica energiilor înalte. Nu toți fizicienii care se ocupau cu teoria particulelor elementare au luat imediat în considerare posibilitatea existenței soluțiilor asimetrice în sistemele simetrice. Ce să-i faci, specializarea îngustă are și părțile ei umbrite!

Cum se repercutează acest fenomen asupra fizicii particulelor elementare? O direcție fructuoasă de cercetări din teoria particulelor elementare valorifică ipoteza potrivit căreia, la distanțe foarte mici, domnește o simetrie maximă, dar, la trecerea la distanțe mai mari, se produce o încălcare spontană, care poate ascunde simetria. Astfel, în teoria interacțiunii electroslabe, care unifică electrodinamica și interacțiunile slabe, la distanțe extrem de mici (de ordinul a 10^{-16} centimetri) există patru cîmpuri echivalente, fără mase, care, la mărirea distanțelor, în urma încălcării spontane a simetriei, se transformă în trei bosoni masivi, W, cu masa de ordinul a 100 GeV și un foton fără masă. Apariția de hadroni masivi într-un sistem format din gluoni fără masă și quarci este un alt exemplu de încălcare spontană a simetriei. Aceste exemple arată că multe proprietăți fundamentale ale particulelor elementare sînt determinate de fenomenul încălcării spontane.

Încălcarea spontană a simetriei este legată și de un alt fenomen foarte important. Cînd simetria este încălcată spontan, mai rămîn totuși urme ale simetriei precedente, mai înalte. Este vorba despre așa-zisa „excitație Goldstone", după numele fizicianului englez care a descoperit-o. Cînd atomii se unesc într-un fragment de corp solid, se încalcă simetria la translație. Rămîne însă posibilitatea translatării în spațiu a centrului de greutate al întregului fragment. Dacă are loc o oscilație elastică de lungime mare de undă, fiecare porțiune se deplasează efectiv ca un întreg. Din acest motiv, sîntem îndreptățiți să ne așteptăm ca, la mărirea lungimii de undă, frecvența oscilației elastice să tindă la zero. Așa și este: frecvența oscilațiilor cu lungimi mari de undă (frecvența sunetului) este invers proporțională cu lungimea de undă. În corpurile solide și în cele fluide sunetul este exemplul cel mai simplu de „oscilații Goldstone". Stările rotaționale ale nucleelor mari deformate sînt tot „oscilații Goldstone", apărute în acest caz ca rezultat al încălcării simetriei la rotație; tocmai de aceea excitațiile benzii rotaționale au o frecvență redusă.

Încălcarea spontană a simetriilor constituie un bun exemplu al modului în care domenii diferite ale fizicii, chiar depărtate unele de altele, se influențează reciproc. În cazul de față, este vorba despre influența fizicii corpului solid asupra teoriei particulelor elementare. Se pot da la fel de multe exemple de influențe reciproce. Metodele teoretice moderne de studiu ale tranzițiilor de fază, ca și ale altor fenomene ale fizicii macroscopice provin din fizica energiilor înalte.

A cuprinde necuprinsul

O altă direcție pe care s-a dezvoltat fizica este căutarea unor cauze unice pentru fenomene din domenii diferite, încercarea de a uni diferitele ramuri ale științelor fizice.

Un pas important în această direcție a fost făcut de Newton. El a demonstrat că fenomene cum ar fi căderea corpurilor pe Pămînt, mișcarea Lunii în jurul Pămîntului și mișcarea stelelor sînt determinate de o singură cauză — atracția cu o forță invers proporțională cu pătratul distanței. El a arătat că toate aceste fenomene se pot estima cantitativ cu ajutorul legilor mecanicii formulate de el.

Următorul pas, la fel de grandios, l-a făcut James Maxwell. El a obținut niște ecuații uimitoare, care unifică toate fenomenele electricității, magnetismului și opticii. Marele fizician german, Ludwig Boltzmann, unul dintre fondatorii fizicii statistice, spunea despre aceste ecuații. „Nu cumva Dumnezeu însuși le-a scris?"

La începutul secolului al XX-lea, fizicienii cunoșteau numai două tipuri de interacțiuni: electromagnetice și gravitaționale. Primele cercetări privind nucleele atomice arătaseră că neutronii și protonii care intră în compoziția nucleului sînt ținuți laolaltă de forțe de zeci de ori mai mari decît cele electromagnetice. Aceste particule sînt legate unele de altele prin interacțiuni tari. În afară de interacțiunile tari, s-au descoperit și forțe mult mai slabe care acționează între electroni, neutrini și nucleoni (neutroni și protoni). Aceste interacțiuni sînt răspunzătoare de unele dezintegrări radioactive și se numesc „slabe". Ele produc, între altele, și transformarea neutronului liber într-un proton, un electron și un antineutrin.

Pînă nu de mult, se părea că între cele patru interacțiuni — tare, slabă, gravitațională și electromagnetică — nu există nici o legătură. În ultimele decenii, fizicienii și-au îndreptat eforturile către unificarea lor. Interacțiunile electromagnetică și slabă s-au unificat în interacțiunea numită „electroslabă". Așa cum am amintit, aceste interacțiuni s-au dovedit o formă de manifestare a unei interacțiuni unificate mai generale. În ce constă frumusețea unificării?

Au apărut legături neașteptate între fenomene diferite. De pildă, constanta care determina mărimea interacțiunii slabe s-a dovedit a fi legată de sarcina electronului. Teoria a explicat multe fenomene care mai înainte păreau enigmatice.

Teoria Marii unificări nu este încă elaborată, dar sperăm că se află pe un drum bun. Ea trebuie să ofere o explicație unică pentru interacțiunile electromagnetică, slabă și tare. Conform predicțiunilor acestei teorii, protonul nu este o particulă stabilă, iar timpul său de viață față de dezintegrarea într-un pozitron și un pion neutru, sau într-un neutrino și un pion pozitiv, este de circa 10^{30}—10^{33} ani. Pentru verificarea acestei predicțiuni s-au făcut mai multe experimente. Dacă dezintegrarea se va produce experimental, ideea Marii unificări va fi confirmată.

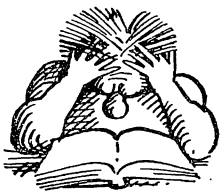
În ultimul timp, mulți teoreticieni încearcă să construiască teoria Superunificării, care ar îngloba toate cele patru interacțiuni: tare, electromagnetică, slabă și gravitațională.

Pasternak are niște versuri care sună așa:

„Înfrățit cu tot ce există,
Aflînd viitorul și-ncredințîndu-te de-ale vieții toate,
Pîn-la sfîrșit ca să nu cazi nici nu se poate,
Ca într-o erezie,
Într-o nemaiauzită simplitate..."

Din păcate, deocamdată, încercările de unificare sînt prea complicate și va trece multă vreme pînă cînd se va ajunge la o „nemaiauzită simplitate". Tabloul de-abia se schițează. El nu este destul de frumos și, deci, e încă departe de adevăr. Și totuși, de pe acum este clar că sîntem pe drumul unei înțelegeri mai adînci a măreței frumuseți ascunse în Univers.

Spațiul este simetric?



Simetria provine din armonia părților componente pe care le unește într-un întreg. Frumosul este strîns legat de simetrie.

Hermann Weyl

Căutările simetriei legilor naturii arată că drumul către adevărul demonstrat științific este sinuos, că uneori trebuie să renunți la afirmații aparent neîndoielnice, și că pe neașteptate apar legături între fenomene complet diferite. Problemele la care mă voi referi în continuare privesc cele mai profunde proprietăți ale Universului — legătura dintre legile naturii și proprietățile spațiului și timpului. Acestea sînt problemele care determină caracterul interpretării pe care o dăm noi lumii.

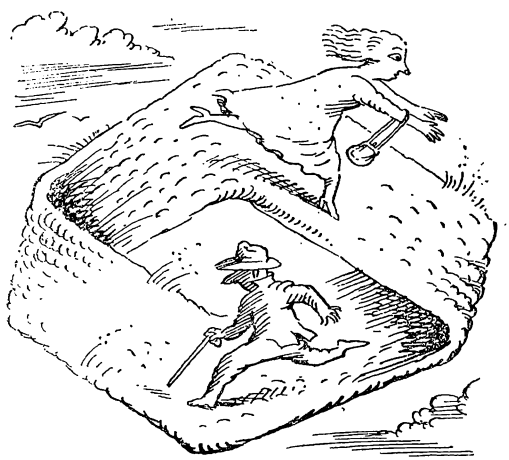
Legile de conservare decurg din simetria spațiului și timpului

Există niște legături surprinzătoare și totodată firești între proprietățile spațiului și timpului și așa-numitele „legi de conservare", cum ar fi legea conservării energiei, sau legea conservării impulsului. Această legătură remarcabilă a fost formulată de matematiciana germană Emmi Noether (1882—1935).

Fiecare tip de simetrie are legea sa de conservare. Astfel, legea conservării energiei este urmarea simetriei naturii la translația timpului. Simetria la translația spațială are drept consecință legea conservării cantității de mișcare (a impulsului). Ne folosim deseori de această lege, pe care se bazează, între altele, și mișcarea rachetei. Întrucît impulsul total se conservă, impulsul rachetei însăși (produsul dintre masă și viteză) se mărește pe seama impulsului luat de gazele ejectate.

Simetria la rotație duce la conservarea momentului cinetic al particulei. Pentru particulele care se mișcă circular, momentul cinetic este egal cu produsul dintre distanța de la centrul de rotație pînă la particulă, masa și viteza acesteia.

Pentru corpurile care nu sînt punctiforme, trebuie adunate momentele cinetice ale diferitelor părți componente suficient de mici ale corpurilor. Balerinele folosesc frecvent legea conservării momentului cinetic: apropiindu-și mîinile de corp, ele micșorează distanța pînă la axa de rotație și, în virtutea conservării momentului cinetic, își măresc viteza de rotație. Nădăjduiesc că balerinele vor fi încîntate să afle că piruetele lor se obțin datorită simetriei spațiului față de rotații.



Voi încerca să clarific cum anume neuniformitatea mersului timpului duce la neconservarea energiei. Să admitem că neuniformitatea mersului timpului se manifestă prin aceea că, dintr-un anume moment, constanta gravitației universale începe să se modifice în mod periodic. Atunci ar fi ușor de construit o mașină care ar putea primi energie din nimic, un perpetuum mobile. Pentru aceasta este necesar să ridicăm greutățile în perioada gravitației reduse, transformînd apoi energia cîștigată de acestea în energie cinetică, prin aruncarea în jos a greutăților în momentele cu gravitație crescută. Observați deci că neuniformitatea mersului timpului, adică modificarea ritmului relativ al diferitelor procese, duce la încălcarea legii conservării energiei.

Acum nu ne mai pare straniu faptul că legile conservării energiei și ale altor mărimi sînt respectate de toate fenomenele

naturii. Ele decurg dintr-o proprietate foarte generală a lumii noastre, cum este simetria spațiului și a timpului.

Din cele spuse, rezultă că omogenitatea mersului timpului se poate verifica prin cît de precis se îndeplinește legea conservării energiei. Dacă avem impresia că în tinerețe timpul trece mai repede, lumina era mai puternică, culorile mai proaspete și mintea mai ageră, toate acestea trebuie explicate prin schimbările petrecute în noi și nu prin schimbările ritmului timpului; timpul merge uniform. Și, oricît ar părea de uimitor, pentru demonstrație este suficient să ne convingem că în mașinile neînsuflețite energia se conservă cu o mare precizie. Și viceversa, numai din constatarea că atomii emit tot timpul, cu o precizie colosală, lumina avînd mereu aceeași frecvență, putem conchide că legea conservării energiei se îndeplinește cu aceeași precizie.

De ce inima se află în stînga?

În virtutea simetriei la reflexie a legilor naturii, două instalații experimentale care se deosebesc numai prin faptul că una este imaginea în oglindă a celeilalte; funcționează absolut identic.

Dar nu se încalcă oare această cerință în viața de toate zilele? În natură există multe exemple de nerespectare a simetriei la reflexie. Oamenii au inima în partea stîngă, iar pentru respectarea simetriei la reflexie, în procesul evoluției ar fi trebuit să apară un număr egal de viețuitoare cu inima în stînga și cu inima în dreapta. Dar, la o observare mai atentă, constatăm că nu este vorba de fapt de o contradicție. Iată, de pildă, o entitate mai puțin complexă decît omul. Există, două tipuri de cuarț care, după structura moleculară, sînt unul față de altul, ca mîna dreaptă și mîna stîngă. Aceste două tipuri de cuarț se găsesc pe Pămînt în cantități diferite. Același lucru este valabil și pentru alte minerale. Din acet motiv, asimetria ființelor vii poate fi explicată prin faptul că hrana lor, sau „materialul lor de construcție" întîlnit în natură nu posedă simetrie la reflexie. Atunci problema se reduce la una mult mai simplă — la încălcarea simetriei la reflexie în lumea neînsuflețită.

În legătură cu aceasta vom aminti o uimitoare experiență făcută de Louis Pasteur.

Se știa că, trecînd prin acidul tartric dextrogir, care se găsește în natură, lumina polarizată își schimbă direcția

de polarizare (direcția cîmpului electric din unda luminoasă). Lumina polarizată, adică lumina cu direcție de polarizare se obține trecînd lumina obișnuită printr-un polarizor, dispozitiv ce lasă să iasă numai lumina cu o direcție de polarizare determinată. Pe acest principiu funcționează ochelarii polaroizi. Prin lentilele lor poate trece numai lumina cu direcție verticală de polarizare. Or, lumina reflectată de băltoace sau de asfaltul ud are o polarizare predominant orizontală. De aceea, ochelarii polaroizi micșorează strălucirea orbitoare a luminii reflectate. Este ușor să ne convingem de acest lucru, rotind ochelarii polaroizi în jurul unei axe orizontale.

După ce proprietățile acidului tartric dextrogir din natură au fost bine studiate, chimiștii l-au preparat sintetic. Produsul nu se deosebea de cel natural prin nici o proprietate fizică sau chimică. Dar, spre imensa uimire a oamenilor de știință, s-a observat că la trecerea luminii polarizate prin acidul tartric dextrogir sintetic, direcția de polarizare nu se mai schimbă!

Pasteur a presupus atunci că acidul sintetic este un amestec a două forme simetrice la oglindire, așa cum este mîna stîngă față de mîna dreaptă. Unul dintre acizi dă direcția de polarizare spre dreapta, celălalt — spre stînga. Ca urmare, polarizarea rămîne neschimbată.

Ca să-și demonstreze ipoteza, Pasteur a cultivat o colonie de microbi în acidul de sinteză, considerînd că aceștia, obișnuiți să se hrănească cu acid natural, nu vor refuza forma lui simetrică. Alice, eroina povestirii lui Lewis Caroll, contemporan cu Pasteur, era preocupată de aceeași problemă. Invitîndu-și pisica la drum dincolo de Oglindă, ea se întreabă dacă laptele din oglindă se poate bea, dacă nu cumva acest lapte i-ar face rău lui Kitty. Cît de uimitoare poate fi o problemă științifică, dacă își poate afla locul și într-o poveste!

Și ce s-a observat? Cînd microbii au început să se înmulțească în acidul sintetic, direcția de polarizare a luminii care trece prin acid se schimba din ce în ce mai mult. Acidul natural rotea planul de polarizare la dreapta, dar, după înmulțirea microbilor, cel sintetic a început să-l rotească la stînga! Cît de mare trebuie să fi fost emoția și bucuria lui Louis Pasteur, cînd ipoteza lui s-a confirmat într-un mod atît de neobișnuit! E posibil ca aceasta să fie singura descoperire din fizică, făcută cu ajutorul microbilor.

Astfel, Pasteur și-a demonstrat strălucit ipoteza și a arătat că și organismele inferioare au capacitatea de a face

deosebire între cele două forme simetrice la reflexie. Ambele forme apar în cantități egale, chiar și în substanțe sintetice, fapt care confirmă încă odată că procesele sînt simetrice în ceea ce privește reflexia.

După cît se pare, asimetria la oglindire din lumea vie nu se explică prin încălcarea acestei simetrii, ci prin motive istorice. Este posibil ca, întîmplător, în acel loc de pe Pămînt unde a apărut pentru prima oară viața, materialul de construcție „de dreapta" să fi fost mai abundent și de aceea a apărut una dintre forme care apoi s-a moștenit.

Răspîndirea inegală a mineralelor „de dreapta" și „de stînga" se poate explica presupunînd că în momentul formării lor, în mediul înconjurător existau tensiuni de forfecare mari, sau, în cazul lichidelor, mișcări turbionare intense. Una dintre cauzele posibile ale asimetriei poate fi și rotația Pămîntului, dar ea avantajează neglijabil de puțin una dintre forme în dauna celeilalte. Încălcarea simetriei la reflexie, provocată de interacțiunile slabe, este, așa după cum am văzut, foarte mică și deci ea cu greu ar putea explica diferența mare în ceea ce privește răspîndirea mineralelor „de dreapta și de stînga".

Astfel, pînă nu de mult, fizicienii erau convinși că atît în lumea noastră cît și în oglindă toate legile naturii sînt aceleași. Dar a trebuit să se renunțe la această convingere.

Încălcarea simetriei la reflexie în interacțiunile slabe

Cu aproximativ treizeci de ani în urmă au apărut primele contradicții. Se descoperise pe atunci o particulă — mezonul K încărcat — care se poate dezintegra fie în două, fie în trei particule numite mezoni pi. Analiza experimentelor i-a condus pe fizicieni la concluzia că în acest caz simetria la reflexie este încălcată. Legea simetriei de reflexie interzice mezonului K să se dezintegreze în aceste două moduri.

Simetria la reflexie ca și celelalte simetrii la translații și rotații în spațiul-timp, examinate mai înainte, duce la o lege de conservare. Se conservă o mărime numită „paritate". În conformitate cu mecanica cuantică, descrierea comportării unei particule se face cu ajutorul așa-numitei „funcții de undă". Mărimile fizice se exprimă — cu ajutorul pătratului acestei funcții. Conform legii simetriei la reflexie,

proprietățile particulelor nu trebuie să se modifice la reflexie, dar acest lucru nu este valabil pentru funcția de undă, care, de exemplu, își poate schimba semnul. Atunci cînd funcția de undă nu își modifică semnul la reflexie, starea descrisă se numește „pară", iar cînd și-l modifică se numește „impară". În acest fel, în cazul simetriei la reflexie, fiecare particulă are o paritate bine determinată. Acum se poate înțelege în ce constă dificultatea survenită în legătură cu particula K. Mezonul pi este o particulă impară, ceea ce înseamnă că, în stare de repaus, funcția sa de undă își schimbă semnul la reflexie. Dacă mezonul K este par, el se poate dezintegra numai în două particule impare, iar dacă este impar, numai în trei particule impare. Aici am simplificat întrucîtva raționamentul, dar nu ne-am îndepărtat prea mult de adevăr; trebuia să ne convingem dacă nu cumva paritatea particulelor eliberate se schimbă din cauza mișcării lor.

Experimentul strălucit din 1956, referitor la dezintegrarea beta a cobaltului, efectuat de un grup de fizicieni americani (Tzin-Sian Wu și ceilalți) a dat lovitura hotărîtoare legii simetriei la reflexie. Cobaltul, la temperatură joasă, a fost introdus într-un cîmp magnetic puternic. În prezența cîmpului, nucleele se polarizează, iar spinii lor (despre care vom mai vorbi) se orientează în lungul cîmpului magnetic. La dezintegrarea beta, din nucleele de cobalt se eliberează electroni și antineutrini. S-a observat că electronii zboară mai ales în unghiuri obtuze față de direcția cîmpului magnetic. Or, conform legii simetriei la reflexie, ar fi trebuit să se observe în egală măsură atît unghiuri ascuțite cît și unghiuri obtuze.

Într-adevăr, să privim această instalație reflectată în oglindă. În raport cu obiectele reflectate, cîmpul magnetic își va schimba sensul, așa cum se întîmplă cu un burghiu, care, din burghiu drept, devine prin reflexie, burghiu stîng. Direcția cîmpului magnetic este determinată de sensul curentului din bobina care creează cîmpul tocmai după regula burghiului. De aceea, în oglindă, unghiurile obtuze față de direcția cîmpului se vor transforma în unghiuri ascuțite, deci imaginea reflectată nu arată ca experimentul, ceea ce este în contradicție directă cu legea simetriei la reflexie.

A fost o perioadă de derută. Fizicienii au devenit suspicioși și față de alte simetrii ale spațiului nostru. La vremea respectivă, așa se părea, soluția a fost găsită în 1957 de

către fizicianul sovietic L.D. Landau și fizicienii americani Tzen-Dao Lee și Cjzen-Nin Yang. Ei au presupus că particulele care iau parte la dezintegrarea beta (electronii, neutrinii, nucleonii) sînt asimetrici la reflexie; simetria s-ar restabili numai dacă s-ar trece de la particule la antiparticule. Acum, la reflexie, întregul tablou se schimbă — nu numai că unghiurile obtuze trec în unghiuri ascuțite, ci și particulele trec în antiparticule. În acest fel, simetria la reflexie a spațiului nu mai este încălcată, iar asimetria interacțiunilor slabe este determinată de asimetria particulelor care sînt implicate în dezintegrare. Existența în lumea noastră a particulelor asimetrice nu contrazice simetria spațiului, după cum nu o contrazice nici existența ființelor vii asimetrice.

Simetria la sarcină și la reflexie. Antilumile

Pînă la aceste experimente, fizicienii considerau că legile naturii nu se modifică dacă schimbăm semnul tuturor sarcinilor electrice[23]. Această proprietate a legilor naturii se numește simetria de sarcină.

Toate ecuațiile fizicii, admit, alături de particule și existența antiparticulelor. Și într-adevăr asemenea antiparticule (pozitronul, antiprotonul, antineutronul etc.), au fost descoperite. Așa cum nucleul oricărui element chimic este format din protoni și neutroni, se poate forma nucleul antielementului respectiv, din antiprotoni și antineutroni. Dacă antinucleului încărcat negativ, i se adaugă pozitroni, se obține un antiatom, iar din antiatomi se poate forma antimaterie. Întrucît forțele dintre antiparticule sînt egale cu forțele dintre particule, antimateria va avea aceleași proprietăți ca materia.

Pentru a lua în considerare proprietățile interacțiunii slabe, legea simetriei de sarcină a trebuit să fie precizată: natura nu are simetrie de sarcină, ci o simetrie combinată, la reflexie și de sarcină. Nici un fel de legi ale naturii nu se modifică dacă efectuăm concomitent schimbarea semnului tuturor sarcinilor din univers și reflexia.

Antilumea se deosebește de lumea noastră nu numai prin semnul sarcinilor. Într-o astfel de lume se schimbă și semnificația lui „drept" și „stîng"; antilumea este imaginea

[23] Această operație se mai numește și conjugare de sarcină. — *Nota trad.*

reflectată a lumii noastre. Oamenii acestei lumi, cu condiția ca să fi trecut prin aceeași evoluție ca noi, ar avea inima în dreapta. Mîna lor cea mai puternică ar fi stînga. Eminentul fizician american, Richard Feynman spune în lecțiile sale: „Dacă veți întîlni în spațiul cosmic o navă venind dintr-o lume îndepărtată și cosmonautul vă va întinde mîna stîngă, păziți-vă, este posibil ca acesta să fie alcătuit din antimaterie!"

Există oare antilumi în universul nostru, adică regiuni de antimaterie? Această întrebare rămîne deocamdată fără răspuns definitiv, deși majoritatea astrofizicienilor consideră că nu există antilumi. Dacă ar exista, la granița dintre materie și antimaterie ar avea loc anihilarea electronilor și pozitronilor, adică transformarea unei perechi electron-pozitron în două cuante; energia fiecărei cuante trebuie să fie egală cu energia de repaus a electronului (0,5 MeV). În Univers ar trebui să fie prezente în număr mai mare cuante cu energia de 0,5 MeV. Dar astfel de cuante nu există.

Așadar, Landau, Lee și Yang au presupus că legile naturii au o simetrie combinată de sarcină și la reflexie.

Dar și această simetrie s-a dovedit inexactă. Experimentele cu același mezon K recalcitrant, care a provocat primele neplăceri cu încălcarea simetriei la reflexie, au pus în evidență o abatere foarte mică, dar de o colosală importanță principială, de la legea simetriei de sarcină și la reflexie.

Înseamnă oare aceasta că spațiul nostru nu este simetric, sau din nou încălcarea simetriei este proprietatea particulelor și nu a spațiului?

Fiecare descoperire importantă tulbură la început ordinea și frumusețea, dar, după un timp duce la un tablou mai armonios decît înainte.

Din acest motiv, este bine să mai așteptăm cu răspunsul la întrebarea pusă în titlul capitolului.

Simetria internă

...de la fenomene, la legile naturii, de la legile naturii, la simetrii...

E. Wigner

Va trebui să examinăm încă un tip de simetrii, la fel de productiv pentru fizica contemporană, ca și simetriile spațiului.

Există niște „simetrii interne", care se manifestă tot prin invarianța proprietăților, dar nu la reflexie, translație sau rotații, ci la modificarea unor anumite proprietăți interne ale cîmpurilor sau ale particulelor. De exemplu, interacțiunile tari depind neglijabil de sarcina particulelor implicate. Această proprietate permite să se stabilească „simetria izotopică a interacțiunilor tari" — un caz de simetrie internă.

Ca și simetriile spațiale, fiecare simetrie internă duce la o lege proprie de conservare și invers, cînd o anumită mărime se conservă în multe fenomene, aceasta, de regulă, înseamnă că există o simetrie care asigură conservarea. De exemplu, sarcina electrică se conservă în toate fenomenele cunoscute ale naturii. Simetria care corespunde acestei legi de conservare se numește invarianța de etalonare; ea a pătruns nu numai în electrodinamică, ci în toată fizica teoretică. De aceea ne vom referi la ea mai pe larg.

Invarianța de etalonare

Cîmpurile electromagnetice care interacționează cu particulele încărcate se pot descrie mai ușor cu ajutorul așa-numitului „potențial vector". Dar forțele care acționează

asupra corpurilor încărcate electric nu sînt determinate nemijlocit de potențialul vector, ci de diferențele de potențial ale cîmpurilor electrice și magnetice. Cîmpurile se exprimă prin diferențele dintre valorile potențialului vector în punctele vecine (așa-numitele „gradiente" ale mărimii respective). Potențialul vector poate fi modificat, fără ca intensitățile cîmpurilor să se schimbe. Invarianța de etalonare sau simetria de etalonare înseamnă că nici un fel de fenomene electrodinamice nu se modifică la schimbările potențialului vector care conservă valorile cîmpului electric și ale celui magnetic în fiecare punct al spațiului-timp. Consecințele acestei proprietăți a electrodinamicii s-au verificat experimental cu o mare precizie. Ce fel de schimbări ale potențialului vector sînt acceptabile? Cea mai simplă constă în adăugarea la potențialul vector a unui termen constant, independent de coordonate. Drept urmare, diferențele dintre valorile potențialului vector nu se schimbă, deci intensitățile vor fi tot cele vechi. Dar, s-a observat că potențialul vector admite o libertate mult mai mare — acestuia i se poate adăuga o funcție de coordonate și de timp, corespunzător aleasă, astfel încît cîmpurile electrice și cele magnetice să nu se schimbe.

Invarianța de etalonare trebuie să aibă loc în fiecare punct al spațiului, fiind deci o simetrie locală.

Invarianța de etalonare asigură conservarea sarcinii totale nu numai în întreg spațiul, ci și în fiecare punct. Sarcinile se pot deplasa, dar nu pot să dispară dintr-o regiune a spațiului și să apară în alta, fără ca să se producă un curent electric, care să transporte sarcinile.

Legea lui Coulomb, bine verificată experimental, este și ea o consecință a invarianței de etalonare. Chiar și cea mai mică abatere de la această condiție ar schimba legea de propagare a undelor lungi de radio, fapt care ar contrazice experiența noastră zilnică.

Condiția simetriei de etalonare a jucat un rol hotărîtor în apariția electrodinamicii cuantice, în care legile mecanicii cuantice se aplică nu numai particulelor, ci și cîmpului electromagnetic însuși.

Noțiunea de invarianță de etalonare s-a îmbogățit în special după apariția mecanicii cuantice. La modificarea etalonării potențialului vector, funcțiile de undă ale particulelor încărcate se schimbă astfel încît ecuațiile de mișcare ale întregului sistem să rămînă neschimbate, atît pentru

cîmpuri, cît și pentru particulele care interacționează cu ele. O astfel de invarianță de etalonare generalizată, are un număr imens de consecințe observabile.

Indiscernabilitatea particulelor identice

O simetrie la fel de importantă decurge din indiscernabilitatea principială a particulelor identice. Ca urmare a permutării a două particule identice, cum ar fi, de exemplu, doi electroni sau doi neutroni, nu trebuie să se modifice nici un fel de fenomene fizice. Această condiție se numește „simetria de permutare a obiectelor identice".

Doi turiști, temîndu-se să nu-și încurce toiagele de drumeție identice, le-au vopsit în culori diferite. Dar imediat și-au dat seama că era suficient să coloreze unul. Reflectînd ceva mai mult, se ajunge la concluzia că și vopsirea este inutilă, căci două obiecte ideal identice nu pot fi confundate. Povestind despre fratele său geamăn care s-a înecat în copaie, Mark Twain observă că „Nimeni n-a știut vreodată cine anume s-a înecat, eu sau fratele meu". Frații fiind realmente identici, nu exista nici un mijloc de a afla adevărul. Afirmația nu se poate verifica, deci este neștiințifică. Despre asemenea lucruri am vorbit și în capitolul „Despre psihologia creației științifice".

În mecanica cuantică, starea unui sistem se descrie cu ajutorul funcției de undă. Mărimile fizice se exprimă prin pătratul acestei funcții de undă. Din acest motiv, există două cazuri care nu încalcă simetria la permutare. În primul caz, funcția de undă nu se modifică la permutarea particulelor, în al doilea, ea își schimbă numai semnul.

Într-o lucrare care a exercitat o influență uriașă asupra întregii dezvoltări ulterioare a fizicii, Wolfgang Pauli a arătat că primul caz se realizează pentru particulele cu spin întreg, iar cel de-al doilea, pentru particulele cu spin semiîntreg.

Dar să vedem ce este spinul unei particule.

Particulele elementare pot fi reprezentate ca niște mici titirezi care se învîrtesc. Ele se caracterizează prin momentul lor cinetic. După cum vom vedea în capitolul următor, conform mecanicii cuantice, momentul cinetic al unui sistem nu poate avea orice valori; el se schimbă prin salturi de mărime h (h este tocmai constanta lui Planck, care definește salturile de energie din cîmpul electromagnetic și despre care

am scris în capitolul al II-lea, cînd am vorbit despre paradoxurile fizice). Momentul cinetic poate fi măsurat de obicei în unități h și acest moment se numește „spin". El poate lua valori întregi sau semiîntegi. Astfel, spinul hidrogenului în starea lui fundamentală este egal cu 1/2, în stările excitate ia valorile 1/2, 3/2, 5/2... Spinul atomului de heliu în starea fundamentală este 0, iar în stările excitate 0, 1, 2, 3, ... Spinul electronului, neutronului sau protonului aflați în repaus este 1/2.

Valorile discrete pe care le poate lua momentul cinetic sînt complet nesesizabile în viața obișnuită, întrucît h este foarte mic ($h = 10^{-27}$ în sistemul CGS[24]). Proiecțiile momentului pe o axă oarecare iau și ele valori care se deosebesc una de alta tot prin h. Întrucît proiecția unui vector pe o axă, de exemplu pe axa z, este lungimea acestuia înmulțită cu cosinusul unghiului dintre vector și axa z, atunci și unghiul poate lua numai valori discrete. Prin urmare titirezul cuantic nu se poate înclina sub orice unghiuri. Desigur, și această discretizare se găsește departe de posibilitățile de măsurare din mecanica obișnuită.

Alta este situația cu atomii și moleculele, electronii și nucleonii. Acolo, discretizarea valorilor posibile ale vectorului momentului cinetic și ale proiecției sale se verifică nemijlocit. Astfel, proiecția spinului 1/2 poate lua numai două valori: 1/2 și —1/2, iar în acest caz, valorile discrete sînt ușor de pus în evidență. Particula cu spinul 1 poate avea numai trei proiecții posibile: +1,0, —1. Numărul de proiecții crește o dată cu creșterea spinului. Pentru corpurile care au un moment cinetic cu valori macroscopice, adică un spin mare, valorile proiecțiilor pot fi atît de multe, încît discretizarea este imposibil de observat.

Cel mai simplu mijloc de a găsi spinul este determinarea numărului de proiecții. O particulă cu spinul I are 2I + 1 proiecții. În afară de aceasta, spinul influențează dependența secțiunii de împrăștiere față de unghiul de difuzie.

În felul acesta, funcția de undă își schimbă semnul cînd se permută, să zicem, doi electroni, (spinul electronului este egal cu 1/2) și nu se schimbă cînd se permută doi mezoni π (spinul mezonului π este egal cu zero). Acum este ușor să se înțeleagă principiul „de excluziune al lui Pauli", refe-

---

[24] În sistemul internațional valoarea lui h este $1{,}054 \times 10^{-34}$ Joule s. (este vorba de fapt despre $h/2\pi$, în convenția adoptată de autor vezi p. 75). — *Nota trad.*

rilor la particulele cu spin semiîntreg: dacă două particule cu spin semiîntreg se află în aceeași stare, atunci permutarea lor nu poate schimba funcția de undă. În același timp, conform teoremei lui Pauli, funcția de undă ar fi trebuit să-și schimbe semnul. Prin urmare, o asemenea funcție de undă este egală cu zero. Dar funcția de undă determină probabilitatea de a găsi particula în starea dată; dacă ea este egală cu zero, aceasta înseamnă că starea respectivă este imposibilă — două particule cu spinul semiîntreg nu se pot afla în aceeași stare.

Simetria izotopică

Unul dintre exemplele simple de simetrie internă este „invarianța izotopică a interacțiunilor tari" confirmată prin nenumărate experiențe și foarte importantă pentru formularea teoriei nucleului. Neobișnuita asemănare a cîtorva particule sare pur și simplu în ochi; de exemplu a neutronului și protonului, sau a mezonilor π plus, π zero și π minus. Neutronul și protonul se deosebesc practic numai prin sarcină, masa lor coincide cu o precizie de 0,1 procente, interacțiunea lor cu celelalte particule fiind identică. Spinul protonului și cel al neutronului sînt egali cu 1/2. Lucruri asemănătoare se pot spune și despre cei trei mezoni π: aceștia nu numai că au mase foarte apropiate, nu numai că au același spin (egal cu zero) dar au și aceeași interacțiune cu nucleonii.

Aceste asemănări aù condus la ideea că neutronul și protonul sînt două stări ale uneia și aceleiași particule. Cei trei mezoni π ar reprezenta tot o singură particulă, care se poate afla nu în două, ci în trei stări izotopice.

Să introducem o nouă noțiune — spinul izotopic (izospinul) și să admitem că proprietățile lui amintesc de proprietățile spinului obișnuit. În acest caz, izospinul 1 va avea trei proiecții, iar izospinul 1/2, două. Nucleonul are două stări izotopice, deci izospinul lui are valoarea 1/2, protonul și neutronul corespunzînd respectiv valorilor 1/2 și —1/2 ale proiecției izospinului. Mezonul π are spinul izotopic 1. Mezonii π pozitivi, neutri și negativi corespund respectiv celor trei proiecții ale izospinului 1. În acest fel, interacțiunile tari au proprietatea invarianței izotopice, ele nedepin-

zînd de starea izotopică în care se află particulele în interacțiune.

Simetria izotopică nu este exactă: particulele cu sarcini diferite au mase apropiate, dar totuși inegale.

Stranietatea

Construirea unor acceleratoare puternice și punerea la punct a unor metode sensibile de detecție au dus la descoperirea unui număr imens de particule noi. Ele sînt generate la ciocnirea nucleonilor, sau sînt identificate după influența lor asupra împrăștierii. Primele particule descoperite au fost cele „stranii". Ce era straniu la ele, era tocmai faptul că nu apăreau niciodată cîte una, așa cum apare mezonul π, ci numai în perechi particulă-antiparticulă. Pentru a explica această proprietate, acestor particule a trebuit să li se asocieze, pe lîngă spin și izospin, și un alt număr — „stranietatea". Astfel, particula lambda are stranietatea —1, iar particula antilambda, +1. Perechea particulă-antiparticulă are stranietatea totală egală cu zero. Acum este ușor de înțeles de ce particulele lambda apar numai în pereche. Este suficient să presupunem că stranietatea se conservă și că nucleonul și mezonul π au stranietatea zero și apariția unei singure particule lambda devine imposibilă în reacțiile cu participarea nucleonilor și a mezonilor π. În rest, lambda este asemănătoare cu nucleonul.

Toate particulele care interacționează tare (și care se numesc hadroni) mai posedă o proprietate: numărul de barioni nu se modifică în urma ciocnirilor (hadronice); barionii pot numai să treacă unul în altul. Mai exact, diferența dintre barioni și antibarioni rămîne constantă. Această proprietate poate fi formulată ca o lege de conservare a sarcinii barionice. Este suficient să se prescrie fiecărui barion sarcina barionică 1, iar fiecărui antibarion sarcina —1. Sarcina barionică a mezonilor π, care se pot genera în orice număr, trebuie considerată egală cu zero.

S-au descoperit și alte particule stranii. Pentru ca și acestea să poată fi incluse într-o singură familie cu nucleonul sau cu pionul (dar pentru cazul sarcinii barionice zero) a fost necesară complicarea simetriei izotopice. Trebuia presupusă o simetrie mai largă, care să includă particulele stranii. S-au descoperit două familii mai mari de particule care

interacționează tare: barionii și mezonii. Barionii au spinul semiîntreg (1/2, 3/2...) și sarcina barionică 1, mezonii au spinul întreg (0, 1, 2, ...) și nu au sarcină barionică. Familia barionilor s-a împărțit în două grupe cu proprietăți asemănătoare. Barionii dintr-un grup (în care sînt opt) au spinul 1/2, în alt grup sînt zece particule, avînd spinul 3/2. În mod analog, mezonii cu spinul zero formează un octet de particule asemănătoare.

Abundența de particule descoperite ca urmare a succeselor fizicii teoretice și experimentale nu i-a bucurat, ci mai degrabă i-a pus pe gînduri pe teoreticieni. A început căutarea unei prematerii sau a unor preparticule, astfel încît toată cohorta de particule observate să se obțină din combinația cîtorva particule elementare, sau, mai prudent spus, din particule „mai elementare".

Istoria unei simetrii

Trei quarci, pentru maestrul Mark!

J. Joyce

Istoria lucrărilor consacrate descoperirii subparticulelor din care sînt formați hadronii este dramatică și extrem de bogată în învățăminte. Tabloul structurii hadronilor s-a constituit treptat din fapte disparate. Vom enumera aici evenimentele principale ale acestei drame în spatele căreia stau eforturile fizicienilor din toate țările, succesele temporare și eșecurile lor, destinele unor oameni care și-au cheltuit ani întregi din viață încercînd să găsească adevărul pe căi greșite. Vom vedea totodată că încercările nereușite au scurtat drumul către țel și au pregătit soluția corectă.

Începutul istoriei

Atîta timp cît se cunoșteau numai doi hadroni, nucleonul și mezonul π, exista speranța că neutronul și protonul sînt particule elementare, în timp ce mezonul π este o stare

legată nucleon-antinucleon. Astfel, mezonul π minus se reprezenta ca un antiproton și un neutron cu spinii opuși. Această idee nu s-a transformat însă într-o teorie cantitativă convingătoare ceea ce a jucat un rol pozitiv, întrucît, îndată după descoperirea particulei lambda, a devenit clar faptul că particulele primare trebuie să aibă stranietate. Atunci s-a născut ideea că există nu două, ci trei elemente de construcție, care s-au notat prin analogie cu neutronul, protonul și lambda cu n, P λ. Dezvoltarea acestei idei a dus la edificarea modelului Okun-Sakata, după numele fizicienilor teoreticieni Lev Okun (U.R.S.S.) și Shoichi Sakata (Japonia). Subparticulele aveau aceleași proprietăți ca și „tizii" lor — neutronul, protonul și lambda.

Mezonii erau compuși dintr-o subparticulă și antiparticula ei, iar barionii, din două particule și o antiparticulă. În felul acesta, folosind numai subparticulele n, p, λ și antiparticulele lor, s-au putut obține toți hadronii cunoscuți pe atunci și s-a putut prezice existența cîtorva hadroni noi, care au fost descoperiți ulterior.

Astfel, din trei particule, n, P, λ, și din trei antiparticule se puteau alcătui nouă mezoni cu spinul zero, dar se cunoșteau numai șapte: trei mezoni π și patru mezoni K. Cei doi mezoni neutri lipsă, η și η' au fost descoperiți după cîțiva ani.

Modelul compus explica în mod firesc împărțirea celor nouă mezoni într-o familie formată din opt membri (octetul) și un mezon separat (singlet), dar nu reușea să explice familia de barioni formată din opt membri cu spinul 1/2.

Quarcii

Numeroasele încercări de a obține familiile observate de barioni și mezoni din particule cu sarcină electrică și barionică întreagă au eșuat. Ieșirea din dificultate a fost găsită într-un mod neașteptat de americanii Murray Gell-Mann și George Zweig, în mod independent.

Ei au presupus că toți hadronii sînt compuși din particule cu sarcină barionică egală cu 1/3 din sarcina unui nucleon și cu sarcina electrică egală cu 2/3 sau 1/3 din sarcina protonului. Spinul acestor particule este același ca al nucleonului, egal cu 1/2. În experimente n-au fost niciodată identificate vreun fel de particule cu sarcini electrice fracționare, și fizicienii erau atît de convinși că toate sarcinile sînt multiple

sarcinii electronului sau protonului, încît ideea sarcinilor fracționare părea absurdă. Revista americană *Physical Review Letters* a refuzat să publice lucrarea lui Gell-Mann, astfel încît acesta a trebuit s-o trimită în Europa la *Physics Letters*. Gell-Mann a denumit aceste particule quarci, după strigătele pescărușilor din cartea lui Joyce, *Veghea lui Finnegan*.

Ca prin minune, toți hadronii s-au așezat în grupele cu proprietățile determinate experimental.

Barionii sînt formați din trei quarci, astfel încît sarcina lor barionică să fie egală cu unu. Din trei quarci se pot forma două combinații cu spinul 1/2 și respectiv 3/2, și de aceea apar două familii de barioni. Au trebuit introduse trei tipuri de quarci: sus, jos și straniu. Ei au fost notați cu inițialele cuvintelor englezești up, down și strange. Quarkul u are sarcina electrică 2/3, iar quarcii d și s, sarcina 1/3; quarkul s are stranietatea 1, (el intră numai în compoziția hadronilor stranii), în timp ce quarcii u și d au stranietatea zero! Quarcii u și d reprezintă cele două proiecții ale izospinului 1/2, (proiecția „în sus" și „în jos"), de unde și denumirea lor. Neutronul și protonul sînt alcătuiți astfel: n = (u d d); p = (d u u). Sau, cu alte cuvinte, neutronul constă din doi quarci d și un quark u, iar protonul se obține printr-o schimbare reciprocă $u \rightleftarrows d$. Este ușor de văzut, că în acest caz, sarcina neutronului este egală cu zero și a protonului cu 1, așa după cum se și consideră. Aproape la fel de ușor se construiesc toate combinațiile posibile de trei quarci cu spinul total 1/2 și 3/2. Astfel, se obțin toți barionii care formează cele două familii, de opt și de zece. Mezonii sînt compuși dintr-un quark și un antiquark. Mezonii π încărcați sînt reprezentați ca: $\pi^+ = (u\,\bar{d})$; $\pi^- = (d\,\bar{u})$, iar cei neutri, ca o combinație dintre $(\bar{u}\,u)$ și $(\bar{d}\,d)$. Antiquarcii sînt notați cu o linie; sarcina lor electrică este opusă sarcinii quarkului corespunzător. Quarkul straniu nu intră în mezonul $\bar{n}$, întrucît mezonul π, așa cum am mai amintit, este o particulă cu stranietatea și spinul egale cu zero. Mezonul K° are stranietatea — 1. $K^\circ = (\bar{d}\,\bar{s})$. Acesta este mezonul neutru. În mod analog se construiesc mezonii cu sarcina pozitivă: $K^+ = (u\,\bar{s})$, și negativă $K^- = (u\,\bar{s})$.

Intrați în acest joc și construiți și alți hadroni. Jocul vă va aminti de cuburi.

Totuși, așa după cum vom vedea imediat, cuburile noastre sînt încă insuficiente pentru descrierea întregului tablou.

Printre barionii care compun grupul de zece cu spinul 3/2 se numără și rezonanța delta (sau barionul delta). El se notează cu semnul Δ (majuscula greacă „delta"). Această particulă are o viață scurtă, fiind greu de observat în stare liberă. Totuși particula Δ apare în împrăștierea mezonilor π pe nucleoni. Barionul delta reprezintă starea legată a nucleonului și a mezonului π. În procesul de împrăștiere, mezonul π și nucleonul se unesc temporar într-un barion delta. Din acest motiv, secțiunea de împrăștiere a mezonului π pe nucleonul aflat în repaus are un maximum (rezonanța) la o energie a mezonului π corespunzătoare acestei stări legate.

Să ne folosim de formula cunoscută peste tot unde există televizor sau radio, $E = mc^2$, (energia este egală cu masa înmulțită cu pătratul vitezei luminii). Împărțind energia mezonului π din maximul secțiunii la c^2 și adăugînd-o la masa nucleonului, vom obține masa rezonanței delta. Întrucît nucleonul și mezonul nu sînt particule stranii, stranietatea lui Δ este zero. Aceasta înseamnă că ea este compusă din quarci u și d.

Din dependența secțiunii față de unghiul de difuzie, s-a stabilit că spinul particulei Δ este 3/2. Au fost descoperite patru varietăți izotopice de barion delta, care se deosebesc numai prin sarcina lor electrică.

Este ușor să le reprezentăm cu ajutorul grupelor de trei quarci u și d: (d d d) = Δ^-, (d d u) = Δ^0, (duu) = Δ^+, (u u u) = Δ^{++}. Aceștia sînt barionii delta cu sarcinile —1, 0, 1, 2. Am epuizat toate combinațiile, prin urmare alți barioni delta nu mai există. De exemplu, nu există barionul Δ^{---}. O particulă cu sarcina 2 negativă se poate construi numai din antiquarci: ($\bar{u}\,\bar{u}\,\bar{u}$) = Δ^{---}.

Să ne îndreptăm atenția către barionul delta plus-plus, care, așa după cum am văzut constă din trei quarci u. (Numai atunci sarcina totală va fi $2(3\times 2/3 = 2)$.)

Dar, pentru ca spinul particulei să fie egal cu 3/2, trebuie ca proiecțiile spinilor tuturor celor trei quarci u să fie egale cu 1/2.

Apare, așadar, o contradicție cu principiul lui Pauli! Conform acestui principiu, particulele cu spin semiîntreg nu se pot afla în aceeași stare. Pentru a înlătura contradicția, s-ar fi putut încerca o distribuție spațială diferită a quarcilor în interiorul barionului delta. Dar, în cazul unei astfel de

distribuții neuniforme, energia crește, deci și masa barionului delta. În locul masei constatate (de aproximativ o dată și jumătate mai mare decît a nucleonului) am obține o masă sensibil mai mare. Teoreticienii au încercat de mai multe ori să ocolească principiul lui Pauli, dar s-a înregistrat un eșec pe toată linia. A reieșit că unica posibilitate este presupunerea că fiecare quark are, pe lîngă spin și sarcină, încă o caracteristică, numită convențional „culoare". Fiecare quark poate avea una dintre cele trei culori, alese să fie, de exemplu, roșu, galben, albastru. În acest fel, contradicția cu principiul lui Pauli dispare: quarcii u din barionii delta sînt de culori diferite, iar particulele diferite se pot afla și în aceeași stare.

Culorile quarcilor nu trebuie înțelese „ad litteram", fiind vorba numai de o convenție. O variantă ar fi pur și simplu numerotarea: u_1, u_2, u_3.

Quarcii nu pot trăi unul fără altul

Numeroase cercetări experimentale și teoretice au confirmat existența sarcinilor fracționare și tricromia quarcilor. Quarcii au devenit obiecte tot atît de autentice ale fizicii, cum sînt protonii și electronii. Totodată însă, deși s-au făcut multe încercări, nu s-au putut găsi experimental particule libere cu sarcini fracționare. Quarcii nu pot fi scoși din hadroni nici la ciocniri foarte puternice. Vrei, nu vrei, trebuie să ridici inseparabilitatea quarcilor la rangul de lege a naturii. Numai particulele „albe" se pot găsi în stare izolată, așa cum sînt hadronii și leptonii (electronii, miuonii, neutrinii), în timp ce particulele „colorate" — quarcii — trebuie observate numai în interiorul hadronilor. Quarcii nu pot fi îndepărtați unul de celălalt. Atunci cînd se încearcă separarea lor, ei se transformă în particule albe. Dacă la ciocnirea, să zicem, a electronilor cu pozitronii, la energii mari (cum ar fi în acceleratori cu fascicule încrucișate) apare perechea quark-antiquark, atunci aceasta din urmă generează la rîndul ei imediat alte perechi colorate, și toate se grupează în combinații albe — barionii și mezonii. Ceva mai încolo, vom determina mai precis ce anume înseamnă „o particulă albă".

La o primă privire, inexistența quarcilor liberi nu pare o proprietate chiar atît de ciudată. Neutronul trăiește în

nucleu un timp nelimitat de lung, dar în stare liberă se dezintegrează într-un sfert de ceas. Desigur că pentru particula nucleară sfertul de oră reprezintă un timp enorm, dar, de exemplu, rezonanța Δ se dezintegrează atît de rapid, că nu poate fi observată în stare liberă, astfel încît existența sa se constată numai prin influența ei asupra împrăștierii pion-nucleon. La separare, quarcii și antiquarcii se transformă atît de rapid în particule albe, încît nu pot fi detectați departe unul de celălalt.

Acest obiect fizic are o particularitate: quarcii nu trăiesc unul fără altul. Înainte de a se transforma în particule albe quarkul și antiquarkul sînt strîns legați printr-o interacțiune extrem de puternică, indiferent de distanța pe care se deplasează. În electrodinamică, două sarcini opuse sînt și ele atrase una spre alta, dar forța de atracție scade cu pătratul distanței. Din acest motiv, în perechea electron-pozitron, particulele componente pot fi considerate libere, de îndată ce s-au deplasat una față de alta oricît de puțin, astfel încît energia potențială devine mai mică decît cea cinetică. În cazul perechii quark-antiquark, separarea nu survine niciodată, întrucît energia potențială a interacțiunii crește cu distanța!

Această particularitate se explică prin proprietățile cîmpului care leagă quarcii: spre deosebire de cîmpul electric, el nu scade cu distanța.

Cînd se generează o pereche quark-antiquark, aceștia se depărtează la început unul de celălalt. Energia lor se transformă în energie potențială de atracție, ca în cazul a două bile legate între ele cu un resort elastic care se depărtează una de alta. Dar la o energie potențială foarte mare, sistemul devine instabil, resortul se rupe, sistemul se transformă în două fascicule de particule albe, care merg în direcții opuse.

S-au mai descoperit și alte tipuri (sau „arome") de quarci și anume „farmec" și „frumusețe".

Teoria mai prezice încă un fel de aromă „vîrf". Acest quark n-a fost deocamdată confirmat experimental. Urmînd nomenclatura quarcilor, u, d, s, quarcii amintiți mai sus se notează c, b, t (după inițialele cuvintelor englezești corespunzătoare (charm, beauty, top).

Există deci quarci și antiquarci cu șase feluri de arome: u, d, s, c, b, t, iar fiecare dintre aceștia poate avea trei

culori. Numărul total de quarci devine $6 \times 2 \times 3 = 36$ (socotind și antiquarcii).

Să sperăm că inventivitatea naturii s-a epuizat și că nu se vor mai descoperi și alți quarci[25].

Cîmpul care lipește quarcii

Oricît de importantă ar fi cunoașterea simetriilor, ele nu epuizează toate proprietățile obiectelor fizice. Mai trebuie știut cum interacționează și cum se mișcă particulele și cîmpurile.

Considerațiile pe marginea simetriilor ne-au permis să găsim din ce fel de quarci sînt alcătuiți hadronii. Dar este mult mai greu de înțeles ce anume îi reține și cum se mișcă acolo quarcii. În nucleul atomului de hidrogen, electronul este reținut lîngă proton de forțele electrice. Prin analogie, trebuie presupus că există un cîmp special care nu le permite quarcilor să se împrăștie. Acest cîmp care lipește quarcii a fost numit cîmp de gluoni, de la cuvîntul englezesc „glue" — clei. Ca și în cazul cîmpului electromagnetic, aplicarea mecanicii cuantice duce la modificarea în salturi a energiei cîmpului gluonic. Energia cîmpului se modifică în trepte de mărime $E = h\omega$ (λ), unde $h\omega$ este frecvența cîmpului cu lungimea de undă λ. Porția de energie a cîmpului gluonic se numește „gluon", prin analogie cu denumirea cuantei de energie a cîmpului electromagnetic („cuantă" sau „foton").

Electrodinamica cuantică s-a dovedit o teorie excelentă: predicțiunile ei se confirmă extrem de precis. În afară de aceasta, ea are și proprietatea invarianței de etalonare. Teoreticienii au ajuns la concluzia că invarianța de etalonare constituie o calitate aproape inalienabilă a teoriei fizice. Din acest motiv, ecuațiile cîmpului gluonic trebuie căutate după modelul și asemănarea ecuațiilor electrodinamicii. Din simetria de etalonare decurge, între altele, faptul că gluonul este o particulă fără masă, ca și fotonul.

Dar există și o deosebire fundamentală: interacționînd cu cîmpul gluonic, quarcii pot să-și schimbe culoarea, în

[25] Quarcii descriși aici sînt așa-zișii „quarci de valență", întrucît cu ajutorul lor se explică structura particulelor. Pentru o discuție mai detaliată, vezi Abdus Salam, *Știința, bun al întregii omeniri*, Editura Politică, 1985. — *Nota trad.*

timp ce electronul nu se schimbă prin interacțiunea sa cu cîmpul electromagnetic. Din acest motiv, gluodinamica este mai complicată decît electrodinamica.

Pentru fiecare modificare de culoare a quarcilor trebuie introdus un cîmp propriu: roșu-albastru, albastru-galben și așa mai departe. În total, apar nouă variante (3×3). De fapt, așa după cum vom vedea, trebuie introduse nu nouă, ci numai opt cîmpuri gluonice. Din trei cîmpuri, roșu-roșu, albastru-albastru și galben-galben, se poate forma o combinație incoloră — albă — care nu trebuie inclusă în categoria cîmpurilor de culoare prin care interacționează quarcii. Pentru a înțelege aceste lucruri, este nevoie de un efort — n-ai ce face, simetria nu poate fi văzută ușor.

Să ne amintim ce s-a spus în prima secțiune a acestui capitol despre clasificarea mărimilor care se schimbă în mod diferit la operațiile de simetrie cum ar fi rotațiile în spațiu.

Prin analogie cu simetria spațială, trebuie să introducem un spațiu tridimensional al culorilor și să clasificăm toate mărimile după modul în care se modifică ele la rotațiile în spațiu.

Particulele albe nu trebuie să-și schimbe starea, sau, mai exact, funcția lor de undă trebuie să rămînă neschimbată la rotațiile în spațiul culorilor; în raport cu transformările de culoare, particulele albe sînt deci scalari. Funcția de undă a unui quark nu va rămîne neschimbată; la rotații în spațiul cromatic ea se va modifica în mod determinat.

Pentru a păstra clasificarea barionilor și mezonilor alcătuită înainte de introducerea culorilor este necesar ca din stările de culoare ale celor trei quarci în număr de 27 ($3 \times 3 \times 3 = 27$) să se formeze o combinație care să nu se modifice la rotațiile din spațiul culorilor, adică o stare albă, corespunzătoare barionului. Din cele nouă stări de culoare ale sistemului quark-antiquark ($3 \times 3 = 9$) trebuie obținută o construcție incoloră — mezonul. Alegînd toate aromele quarcilor care intră în compoziția particulelor incolore, vom obține aceleași familii de barioni și mezoni ca și înainte de introducerea culorilor.

Întrucît gluonul poate să se transforme virtual (temporar) într-o pereche quark-antiquark, funcția sa de undă se va transforma și ea în mod similar cu funcția de undă a perechii respective și rezultă că din nouă cîmpuri gluonice se poate forma un cîmp alb. Simetria cere ca toate cele opt cîmpuri gluonice rămase să interacționeze asemenea quarcilor. Cîmpul gluonic alb poate interacționa complet altfel,

avînd propria sa constantă de interacțiune, deoarece se transformă numai în combinații albe de quarci. Se pare că acest cîmp nu se manifestă niciodată. Să presupunem că nu mai există alte feluri de cîmpuri care să influențeze asupra gluonilor. Din cauza invarianței de etalonare, masa gluonului este egală strict cu zero, și nu e greu să ne convingem că în acest caz cîmpul gluonic alb este infim.

Într-adevăr, dacă neutronii și protonii care intră în compoziția nucleelor de materie, ar genera vreun cîmp gluonic alb cît de cît observabil, atunci între corpurile macroscopice ar lua naștere forțe enorme (pentru gluonii fără masă este valabilă legea lui Coulomb) iar cîmpul gluonic alb s-ar adăuga la cîmpul gravitațional. Din faptul că la suprafața Pămîntului nu există nici un alt fel de forțe în afară de cea a gravitației, rezultă că interacțiunea nucleonilor cu cîmpul gluonic alb are o constantă de 10^{50} ori mai mică decît constanta lor de interacțiune cu pionii, de exemplu.

Ne-am mai întîlnit o dată cu o simetrie care seamănă cu simetria de culoare și anume atunci cînd am clasificat barionii și mezonii. Numai că acolo era vorba despre simetria izotopică și de simetria în spațiul a trei arome: u, d, s. Am trecut însă sub tăcere modul în care se poate obține din quarci familia celor opt mezoni. Acum totul este însă mai ușor.

Dintr-un quark și un antiquark se pot alcătui nouă combinații de arome (sau izotopice). Dintre acestea, una este scalară, (familia cu un singur mezon) iar celelalte opt combinații se transformă în spațiul de arome ca o pereche quark-antiquark și formează o familie de opt mezoni.

Ambele simetrii: izotopică (incluzînd numai cele trei arome: u, d,s) și de culoare (simetria în spațiul celor trei culori) au aceeași natură matematică, deși se realizează în spații diferite. Să ne amintim de cuvintele lui G. Boole, pe care merită să le repetăm: „Eficacitatea unei analize nu depinde de interpretarea simbolurilor ci exclusiv de legile după care se combină aceste simboluri". În ambele cazuri, acționează aceeași simetrie, pe care matematicienii au notat-o SU (3). Pentru a avea o reprezentare a acestei simetrii, ca și a altora posibile, este necesar să se studieze un domeniu al matematicii important pentru fizică și anume teoria grupurilor.

Dar teoria interacțiunilor tari nu se încheie aici. Nu este suficient să obții proprietățile transformărilor de culoare ale quarcilor și cele opt cîmpuri gluonice. Cea mai importantă

problemă rămîne găsirea ecuațiilor care descriu aceste cîmpuri și interacțiunile lor cu quarcii. Și, în sfîrșit, nu este mai puțin importantă nici rezolvarea ecuațiilor, sau exprimarea maselor tuturor hadronilor și interacțiunilor dintre ei prin proprietățile gluonilor și quarcilor considerați deocamdată „elementari". Așa au procedat odinioară fizicienii, atunci cînd au determinat proprietățile atomilor și moleculelor cu ajutorul proprietăților nucleelor elementelor și ale electronilor, tratînd nucleele și electronii ca pe niște particule elementare.

Comoara uitată

Cum se poate găsi ecuația cîmpurilor gluonice și a quarcilor care să reprezinte generalizarea ecuației lui Maxwell pentru cîmpul electromagnetic în interacțiune cu electronii?

Aici trebuie să evocăm un caz rar din știință, pe care l-am putea numi „noul este vechiul uitat". Încă în 1954, doi teoreticieni, Cijen-nin Yang și R. Mills, jucau un joc matematic. Ei și-au propus generalizarea electrodinamicii la cazul a trei tipuri de cîmpuri invariante la etalonare, care se transformă unul prin celălalt la fel cum se transformă cele trei cîmpuri pionice: pozitiv, negativ și neutru, la rotațiile din spațiul izotopic. Era numai un joc, întrucît pe atunci se părea că nici nu poate fi vorba de obiecte fizice cărora să li se aplice o astfel de teorie.

Înainte de toate, a ieșit în evidență următoarea împrejurare: se pot introduce atare cîmpuri numai dacă se presupune că acestea interacționează. În absența sarcinilor, cîmpul electromagnetic nu interacționează cu sine însuși; fără sarcini, ecuațiile lui Maxwell sînt liniare. Dar ecuațiile Yang-Mills s-au revelat în mod necesar neliniare. Ele au fost determinate univoc din cerința de invarianță la etalonare și de simetrie în spațiul izotopic. La Yang și Mills cele trei cîmpuri aveau sarcinile $+, -, 0$. Ele își puteau schimba sarcina, interacționînd cu nucleonii (transformînd protonul în neutron și invers). Și, ceea ce este de remarcat, cîmpurile interacționează cu nucleonul cu aceeași sarcină ca și între ele.

De îndată ce s-a pus în evidență existența culorilor gluonilor și quarcilor, s-a născut ideea descrierii cîmpurilor respective cu ajutorul unor ecuații de tip Yang-Mills. Aceste ecuații trebuiau însă generalizate pe cazul nu a trei cîmpuri,

ci a opt cîmpuri care se formau în spațiul culorilor. În afară de sarcina electrică, era totodată necesar să se atribuie quarkului și o sarcină, specială, cea de culoare, care să determine interacțiunea lui cu cîmpul gluonic, așa după cum sarcina electronului determină interacțiunea acestuia cu cîmpul electromagnetic.

Teoreticienii au dispus astfel de un aparat matematic care le-a permis să anticipeze fenomene noi.

Acest caz este un exemplu excelent în care o construcție frumoasă își găsește în cele din urmă o aplicație. Întreaga dezvoltare ulterioară a fizicii particulelor elementare a confirmat speranțele teoreticienilor. Generalizarea ecuațiilor Yang-Mills, împreună cu ecuațiile cîmpurilor de quarci descriu efectiv interacțiunile tari ale particulelor elementare. Prin analogie cu electrodinamica, această teorie s-a numit „cromodinamică" (de la cuvîntul grecesc „χρομος" culoare). Deocamdată nu s-a reușit să se rezolve aceste ecuații în toate cazurile. Spre deosebire de cazul electrodinamicii, interacțiunea cîmpurilor de gluoni și de quarci la distanțe mari nu este mică, fapt care îngreunează extrem de mult aflarea soluțiilor.

Ecuațiile Yang-Mills au multe proprietăți uimitoare, dar nu se poate să nu amintim una dintre ele. Adevărata interacțiune a gluonilor și quarcilor este foarte mică. Totuși, fiecare quark atrage spre sine cîmpul gluonic și din acest motiv este înconjurat de un nor gluonic care îi amplifică interacțiunea cu un alt quark sau cu cîmpul gluonic. O astfel de sarcină efectivă coincide cu cea reală (sau, cum se mai spune cîteodată cu sarcina „goală") cînd distanțele dintre quarci sau fasciculele de gluoni sînt foarte mici. Pe măsura creșterii distanței, sarcina se mărește, la început mai lent, apoi, la distanțe comparabile cu ordinul de mărime al dimensiunilor hadronilor (10^{-14} cm), crește brusc. La energii mari, cînd particulele se apropie una de alta la distanțe foarte mici, sarcina se micșorează, iar interacțiunea dintre quarci scade. Acest fenomen se numește „libertate asimptotică". Dar, la distanțe mici, cromodinamica nu este mai complicată decît electrodinamica. Din acest motiv, soluțiile ecuațiilor cromodinamicii sînt bine studiate la energii mari.

Fenomenul uimitor de micșorare a sarcinii o dată cu creșterea energiei s-a confirmat experimental, fiind în concordanță cantitativă cu teoria. S-au lămurit astfel multe fenomene interesante din domeniul energiilor înalte, ca, de

pildă, generarea multiplă de particule la ciocnirea electronului cu pozitronul.

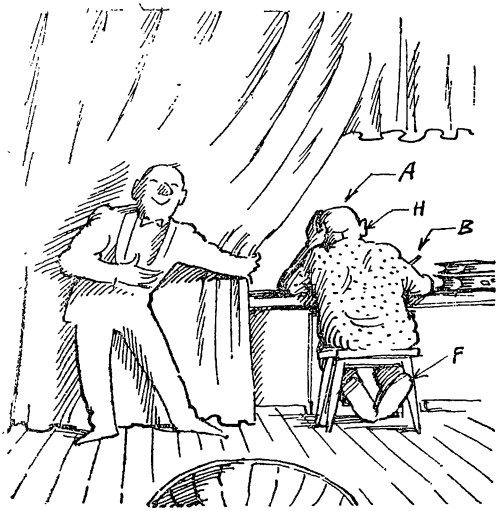
Dar exact în domeniul de dimensiuni și de energii care determină structura hadronilor, și deci și masa lor, sarcina este mare, și deocamdată soluția nu poate fi găsită analitic.

Este necesar de asemenea să se explice, de ce, în experimente, în stare liberă, apar numai particule albe. Am amintit fără demonstrație că la distanță, cîmpul gluonic al quarkului și, în general al oricărui obiect colorat, nu scade cu distanța. Spre deosebire de cîmpul electric din jurul unei sarcini electrice punctuale, liniile de forță ale cîmpului gluonic nu sînt răspîndite uniform în toate direcțiile, ci sînt concentrate într-un fascicul îngust care unește quarkul și antiquarkul, sau, în cazul quarkului izolat, fasciculul merge la infinit. Dar, dacă lucrurile stau așa, atunci energia obiectului colorat va fi infinit de mare, pe seama energiei cîmpului gluonic dintr-un cilindru care merge de la sarcina de culoare, la infinit. Prin urmare, e ușor de înțeles de ce quarcii nu pot trăi unul fără altul și de ce numai obiectele albe există în stare izolată. Particulele albe nu au un cîmp gluonic crescător, ele sînt neutre gluonic.

Din nefericire, această proprietate foarte verosimilă a cîmpului gluonic n-a putut fi demonstrată convingător pînă acum.

În ultimii ani, teoreticienii au primit un sprijin neașteptat: o parte a muncii lor a fost preluată de calculatoarele electronice. În acest fel, ecuațiile cromodinamicii se pot rezolva numeric, însă ce-i drept, deocamdată doar în mare. Rezultatele ne conving însă de corectitudinea cromodinamicii nu numai pentru energii mari, ci și pentru energii mici. Masele și interacțiunile hadronilor obținute teoretic s-au dovedit apropiate de cele experimentale.

Așa au fost trezite la o nouă viață ecuațiile pe jumătate uitate ale lui Yang-Mills, devenind baza unuia dintre domeniile cele mai importante ale teoriei particulelor elementare — teoria interacțiunilor tari.



CUM LUCREAZĂ FIZICIENII

În acest capitol vom examina mai îndeaproape modul în care lucrează fizicienii teoreticieni. Desigur că mă limitez la fizica teoretică, întrucît e profesiunea mea și pentru mine este mai ușor — și în același timp mai interesant — să vorbesc despre ea.

Particularitățile activității fizicienilor teoreticieni pot fi urmărite ușor examinînd principalele evenimente ale dezvoltării teoriei cuantice, de la întemeiere, cînd sensul presupunerilor făcute era complet neclar, și pînă la înțelegerea profundă survenită în timpul disputelor lui Niels Bohr cu Einstein. De la analiza generală, vom trece la una mai concretă, și anume, la modul de lucru al fizicienilor în primele stadii, cînd fac estimări ale mărimilor fizice și ale relațiilor

dintre ele, încă înainte de încercarea soluției exacte. Apoi vom arăta cum se aplică o astfel de analiză calitativă la problemele mecanicii cuantice și la cuantificarea cîmpurilor.

Dar mai întîi să vorbim despre sarcinile și particularitățile fizicii și despre legăturile ei cu matematica.

Sarcinile fizicii

Fără participarea imaginației, toate informațiile noastre despre natură s-ar limita la o clasificare de fapte.

D. Tyndall

Există două profesii apropiate și în același timp diferite: fizica experimentală și fizica teoretică. Ele au un scop comun: cunoașterea lumii obiectelor; metodele lor sînt diferite, dar sînt de neconceput una fără alta.

Fizicianul își formulează legile folosindu-se de noțiuni din matematică și de aparatul matematic, dar problemele și metodele din matematică și din fizică se deosebesc radical.

Vom menționa, desigur, numai în linii foarte generale, direcțiile principale și cele mai importante sarcini ale fizicii.

Experimentatorii și teoreticienii

Există două feluri de fizicieni — experimentatori și teoreticieni și aceste două profesii nu se întrunesc aproape niciodată în una și aceeași persoană. Fizicienii experimentatori studiază relațiile dintre mărimile fizice sau, vorbind mai academic, descoperă legile naturii folosind instalații experimentale, adică efectuînd măsurători ale mărimilor fizice cu ajutorul aparatelor. Pentru a ști cum și ce să măsori, trebuie să fi înțeles în profunzime legăturile dintre mărimile studiate. Fizicienii teoreticieni studiază natura folosindu-se numai de hîrtie și creion; bazîndu-se pe legile naturii descoperite mai înainte experimental și teoretic, deduc noi relații între mărimile observabile. Cauza diferențierii acestor două

profesii nu se reduce la faptul că fiecare presupune cunoștințe speciale — cunoașterea metodelor de măsurare și respectiv stăpînirea aparatului matematic. Principala cauză constă în faptul că cele două profesii necesită tipuri diferite de gîndire și forme diferite de intuiție. Intuiția, care este capacitatea de a găsi instinctiv calea cea bună, joacă un rol de cea mai mare importanță, mai ales în primele stadii ale unei lucrări. Întrucît fizica teoretică are de-a face cu noțiuni mai abstracte decît fizica experimentală, fizicianul teoretician trebuie să posede o formă mai abstractă de intuiție, apropiată uneori de intuiția matematicianului.

În secolul trecut, cînd fizica nu era atît de specializată ca astăzi, mulți fizicieni îmbinau armonios ambele profesii. Astfel, James Clark Maxwell, care a obținut niște ecuații uimitoare, care asociau electricitatea, magnetismul și optica, se ocupa și de experimente. Heinrich Hertz, care a descoperit experimental undele electromagnetice, era totodată și un bun teoretician. Și totuși, în fiecare dintre aceste exemple se poate spune care anume era profesia lor principală: pentru Maxwell, — fizica teoretică, iar pentru Hertz — fizica experimentală.

Unul dintre eminenții fizicieni experimentatori din secolul al XX-lea a fost învățatul englez Ernest Rutherford. Studiind împrăștierea particulelor alfa pe atomi, el a stabilit existența nucleului, încărcat cu sarcină electrică pozitivă și avînd o rază de zece ori mai mică decît raza învelișului atomic. Un mare fizician teoretician a fost Albert Einstein. Folosindu-se numai de hîrtie și creion, el a formulat teoria relativității, conform căreia timpul se scurge în mod diferit într-un sistem în repaus, față de un sistem aflat în mișcare uniformă în raport cu observatorul. Așa cum au demonstrat-o experimentele din ultimele decenii, particulele instabile care se deplasează cu viteză mare, cum sînt miuonul sau mezonul pi, se dezintegrează mai lent decît particulele aflate în repaus, fapt aflat în concordanță exactă cu predicțiunile teoriei relativității. La viteze din ce în ce mai apropiate de viteza luminii, timpul de viață al particulei crește nelimitat.

Remarcabilul fizician italian Enrico Fermi, autorul multor lucrări teoretice, a elaborat teoria dezintegrării nucleare și, împreună cu grupul lui de fizicieni, a descoperit experimental faptul că aproape toate elementele devin radioactive în urma bombardării cu neutroni. Dar și în acest caz putem spune că profesia lui principală a fost fizica teoretică.

Un teoretician excelent, strîns legat de preocupările experimentale a fost și regretatul academician Gherș Iț̦kovici Budker, la care fizica teoretică era asociată cu remarcabile idei inginerești. El a elaborat teoretic acceleratorul de particule încărcate cu fascicule încrucișate și a condus construirea acestuia la Novosibirsk. Într-un astfel de accelerator, toată energia este dirijată către producerea de noi particule în timp ce în cazul țintei fixe, crearea de noi particule preia numai o proporție redusă din energia particulelor accelerate.

Excepțiile enumerate confirmă regula și tînărul care se simte atras de fizică trebuie să se decidă pe care dintre cele două profesii o va alege.

Fizica și matematica

Sarcina fizicianului teoretician este să obțină relații între mărimile observabile, folosind calcule matematice. Dar nu înseamnă aceasta oare că fizica teoretică este oarecum asemănătoare cu matematica aplicată? Nicidecum. Și după caracterul problemelor, și după metodele de a le aborda, matematica și fizica se deosebesc în mod categoric.

În matematică, rolurile cele mai importante sînt jucate de rigurozitatea logică, de ireproșabilitatea tuturor deducțiilor, asociate cu studierea tuturor relațiilor logic posibile, care decurg din axiomele adoptate. Sarcina fizicii este să schițeze, în limita posibilităților, un tablou exact al lumii, fără reguli prea severe ale jocului, folosind pentru aceasta toate faptele teoretice și experimentale, toate deducțiile bazate pe intuiție, care urmează apoi să fie verificate experimental. Matematicianul studiază toate tipurile de geometrii logic posibile, dar fizicianul este acela care stabilește ce relații geometrice se realizează în lumea noastră.

Chiar dacă se ocupă de probleme aplicative, apărute în afara matematicii, matematicianul abordează probleme care nu necesită nici un fel de presupuneri complementare neenunțate. De regulă, fizicianul are de-a face cu probleme în care datele inițiale nu sînt suficiente pentru rezolvare, și arta lui constă tocmai în a intui care dintre relațiile respective se realizează în natură. Dar pentru aceasta este necesară nu intuiția matematică, ci intuiția fizică.

În fizică, credibilitatea se dobîndește dacă, plecînd de la presupuneri inițiale diferite, se ajunge la același rezultat. De fiecare dată este necesară introducerea unor „axiome"

suplimentare, care nu sînt logic necesare, fiecare dintre ele nefiind în sine absolut sigură. Condiția unică este aprecierea corectă a gradului de credibilitate al uneia sau alteia dintre presupunerile făcute. Mai trebuie înțeles în mod clar care dintre ele necesită verificări ulterioare.

Este, desigur, foarte util să se analizeze structura teoriei fizice, adică să se clarifice care sînt presupunerile din care decurg rezultatele. Totuși, într-o astfel de abordare axiomatică, faptul cel mai important nu este generalitatea și rigoarea matematică a deducțiilor, ci alegerea corectă a supozițiilor, precum și aprecierea care dintre presupuneri este mai sigur dovedită experimental, ceea ce implică intuiția fizică. Cînd un matematician efectuează o astfel de activitate, el devine în mod obligatoriu, fie și numai pentru un timp, fizician teoretician. Altfel riscă să se găsească, așa cum spunea satiricul polonez E.Lec, în postura eschimosului care elaborează reguli de comportare pe timp de caniculă pentru locuitorii din Congo.

Așadar, matematica și fizica sînt științe cu sarcini diferite și cu metode diferite de abordare a lor.

În matematică, certitudinea rezultatelor se dobîndește prin rigurozitate logică și prin analiza tuturor soluțiilor logic posibile. În fizică, se examinează numai soluțiile care se pot realiza în natură, iar certitudinea se obține prin verificarea multiplă a presupunerilor făcute. În fizică, rigurozitatea matematică reprezintă un lux imposibil și inutil. Așa cum nu se poate pretinde tăietorilor de lemne să vorbească în versuri, tot așa nu se poate pretinde fizicianului să fie un

bun matematician. Dar fizicianul teoretician trebuie să stăpînească bine aparatul matematic, să cunoască și să știe să se folosească de toate metodele matematice care ar putea să-i fie folositoare la rezolvarea problemelor fizicii.

Căile de dezvoltare

Dacă vreun domeniu al fizicii ar putea atinge vreodată un asemenea stadiu de dezvoltare, încît toate rezultatele sale să se deducă din cîteva axiome strict determinate experimental, domeniul respectiv ar înceta să mai constituie o parte componentă a științei fizicii aflate în dezvoltare și s-ar tranfsorma într-un capitol al matematicii aplicate sau al tehnicii. Așa s-a întîmplat de pildă cu mecanica clasică și cu cea relativistă, precum și cu electrodinamica.

Să enumerăm acum principalele direcții după care se dezvoltă fizica teoretică.

Este vorba, în primul rînd, de obținerea relațiilor cantitative între mărimile observabile. De pildă, folosindu-se de legile mișcării electronilor în metale, teoreticienii au calculat curba dependenței rezistenței electrice față de temperatură și au explicat astfel natura supraconductibilității.

O altă direcție o constituie interpretarea experimentelor fizice și calculul lor teoretic. Teoreticienii care lucrează în acest domeniu, nu numai că efectuează de obicei calcule, ci și propun experimente care sînt deosebit de importante pentru dezvoltarea teoriei. Dată fiind creșterea costului experimentelor, această direcție devine tot mai importantă.

Fizica aplicată se ocupă de probleme care, în viitorul previzibil, ar putea duce la rezultate practice. Una dintre cele mai importante sarcini ale fizicii aplicate este obținerea supraconductibilității la temperaturi înalte[26] sau realizarea reacției termonucleare dirijate.

O altă direcție este fundamentarea unor metode adecvate de descriere matematică a legilor naturii. Aici sînt incluse utilizarea și dezvoltarea acelor metode ale matematicii, care permit punerea în evidență a proprietăților de simetrie ale legilor naturii. Realizarea cantitativă a ideilor teoriei

[26] Metalele supraconductoare au rezistența practic nulă. Rețelele electrice supraconductoare ar evita pierderile, dar sînt greu de întreținut din cauza temperaturii foarte joase necesare. Recent, în unele laboratoare, au fost obținute substanțe supraconductoare la temperatură normală, adică „înaltă" — *Nota trad.*

generale a relativității (teoria gravitației) a devenit posibilă numai ca rezultat al folosirii metodelor de descriere a proprietăților geometrice variabile de la un punct la altul[27]. Pentru cele mai multe probleme ale fizicii teoretice, procedeul cel mai adecvat de rezolvare a problemelor este folosirea calculatorului.

Și, în sfîrșit, calea cea mai importantă și pentru fizica teoretică și pentru fizica experimentală este căutarea principiilor generale care stau la baza legilor naturii, cum sînt cauzalitatea, legile de conservare, proprietățile de simetrie ale naturii...

Așadar, sarcina fizicii constă în indicarea drumului către înțelegerea unității, simetriei și dinamicii fenomenelor, a căilor pentru înțelegerea frumuseții Universului și pentru folosirea legilor naturii spre binele omenirii.

Cum a fost creată mecanica cuantică?

Trebuie oare să flămînzesc numai pentru că nu înțeleg în întregime procesul digestiei?

O. Heaviside (unul dintre fondatorii calculului operațional)

Istoria apariției și dezvoltării teoriei cuantice ilustrează pregnant munca fizicienilor. Vom vedea cum se aplică metodele specifice științei, care au fost prezentate în capitolul „Psihologia creației științifice". Toate rezultatele importante ale teoriei s-au obținut încă înainte de a se fi clarificat semnificația fizică a supozițiilor și acesta este, poate, faptul cel mai interesant! Înțelegerea a venit treptat, pe măsură ce s-a avansat în cunoaștere.

Din scurtele noastre considerații ați putut remarca pînă acum că teoria relativității restrînse și teoria gravitației au apărut într-un mod complet diferit. În cazul acestor două teorii, ideile fizice clare și profunde au precedat teoria în forma ei finită. Este posibil ca acesta să fi fost cîntecul de lebădă al științei clasice din secolul trecut.

---

[27] Proprietăți locale sau punctuale. — *Nota trad.*

Pentru secolul al XX-lea, este caracteristic mersul înainte fără baze prea solide, cu ajutorul unor intuiții vagi, care se clarifică treptat și se înlocuiesc cu altele. Într-un cuvînt, se practică metoda încercărilor și greșelilor, pe care am exemplificat-o prin descoperirea quarcilor. Cînd se istorisesc descoperirile importante, nu se amintește de loc, sau se amintește numai în treacăt despre ipotezele greșite, și istoria științei apare ca un șir neîntrerupt de inspirații fericite. Se înțelege că situația nu este aceasta. Au existat multe bîjbîieli în întuneric și multe abateri din drum. Din momentul în care s-a descoperit că, aparent, în dezintegrarea β, energia nu se conservă și pînă cînd a devenit clar că o parte din energie este preluată de neutrino, unii fizicieni au presupus că legea conservării energiei este încălcată în procesele individuale, rămînînd în vigoare numai în medie.

Desigur că analiza succeselor este mai avantajoasă decît cea a erorilor. Nu ne vom ocupa de istoria fizicii, ci vom încerca doar să urmărim mersul ideilor, drept care ne vom limita la succese.

Începutul erei cuantice

Între altele, secolul trecut, ne-a lăsat moștenire două mari paradoxuri: contradicțiile eterului și „catastrofa Rayleigh-Jeans". Primul paradox a fost înlăturat de teoria relativității. Cel de-al doilea a dus la apariția teoriei cuantice.

În 1900, Max Planck și-a propus să explice cauzele distribuției stranii după frecvențe a intensității radiației electromagnetice aflată în echilibru termic într-o cutie cu pereții încinși (radiația corpului „negru"). Trebuia explicată legea empirică a lui Wien, după care, la frecvențe mari, intensitatea radiației scade exponențial dacă frecvența crește, în timp ce, după statistica clasică, densitatea energiei trebuia să crească odată cu frecvența. La începutul capitolului al doilea, am amintit despre „catastrofa Rayleigh-Jeans".

Planck a descoperit că singura posibilitate de a explica paradoxul este să se presupună că particulele care emit unde cu frecvența ω, pot să-și modifice energia numai în porții discrete $\Delta E = h\omega$. Coeficientul de proporționalitate h a intrat în știință sub numele de constanta lui Planck, despre care am mai vorbit.

Să presupunem că pereții cutiei conțin o mulțime de emițători la toate frecvențele posibile. Cum vor fi excitați emi-

țătorii din cîmpul termic? Emițătorii de frecvență mică se vor comporta după legile fizicii statistice clasice, pentru ei caracteristica discretă (în salturi) fiind necesențială. Ei vor dobîndi o energie corespunzătoare temperaturii pereților Dar emițătorii care au o frecvență mai mare, pentru care hω este mult mai mare decît energia termică medie, vor avea aproape toți o energie minimă. Numai o mică parte va fi excitată. Pentru a-i excita, trebuie să li se transmită energia hω, dar cu ajutorul ciocnirilor nu se poate transmite o energie mult mai mare decît energia termică a unei particule. Probabilitatea unui astfel de transfer este exponențial mică. Acești emițători sînt parcă înghețați, din care motiv, intensitatea luminii emisă de ei este exponențial mică. Așa se explică legea lui Wien. Bazîndu-se pe presupunerea că energia emițătorilor se modifică discret, Planck a obținut o formulă care descria distribuția experimentală a intensității pentru toate frecvențele, în funcție de temperatura pereților. Pentru a se pune de acord cu experiența, era suficientă alegerea adecvată a mărimii constantei h. Așa s-a obținut valoarea numerică a acestei mărimi: $h \simeq 10^{-27}$ erg.s. Este clar din ce cauză în alte cazuri caracteristica în salturi a emițătorilor nu se manifestă: porțiile de energie sînt atît de mici, încît modificările energiei par continui.

Undă sau particulă?

Următorul eveniment important s-a petrecut în 1905, an în care a apărut celebra lucrare a lui Einstein, consacrată efectului fotoelectric: desprinderea electronilor din atom, în urma iradierii. În această lucrare s-a demonstrat că efectul fotoelectric poate fi explicat numai dacă se presupune că lumina este alcătuită din particule (fotoni) care, lovindu-se de electron, îl expulzează din atom. Reprezentarea luminii ca undă nu putea explica acea concentrare a energiei pe un singur electron, necesară pentru desprinderea acestuia.

Einstein a demonstrat că la absorbția sau emiterea unei cuante de lumină (a fotonului), dispare sau se creează un impuls $p = h\omega/c$. În felul acesta, fotonul are un impuls legat de lungimea de undă λ prin relația $p = \frac{2\pi h}{\lambda}$.

Aici am folosit legătura bine cunoscută dintre frecvența ω și lungimea de undă λ, și anume, $\omega = 2\pi c/\lambda$.

Energia undei cu o frecvență dată se poate modifica numai în porții hω, analog modificării energiei emițătorilor în raționamentele lui Planck. Astfel, caracterul discret a fost extins și la undele electromagnetice. Mai mult, formula lui Planck se obține din supoziția că radiația electromagnetică din cutie este un gaz de particule-fotoni care se află în stare de echilibru termic cu pereții cutiei. Remarcăm, între altele, că Einstein a primit premiul Nobel în 1922 tocmai pentru teoria efectului fotoelectric, și nu pentru cea mai mare realizare a sa — teoria relativității și teoria gravitației.

Într-un anume sens, punctul de vedere al lui Einstein a însemnat o revenire la teoria corpusculară newtoniană. A reapărut întrebarea la care Newton n-a putut să răspundă și anume cum pot fi unificate cele două reprezentări: despre natura ondulatorie a luminii, demonstrată de experimentele de interferență și difracție și despre natura ei corpusculară, necesară explicării efectului fotoelectric. A apărut un paradox important — „dualismul undă-particulă".

Postulatele lui Niels Bohr

În 1913, a văzut lumina tiparului celebra lucrare a lui Niels Bohr în care el a extins la atom caracterul discret al valorilor posibile ale energiei emițătorilor, propus de Planck pentru explicarea proprietăților radiației de echilibru. După Bohr, nu toate orbitele sînt posibile, ci numai unele. El a stabilit regulile pentru găsirea orbitelor posibile ale electronului.

Din punctul de vedere clasic, electronul, rotindu-se în jurul nucleului (modelul planetar al atomului) trebuie să radieze unde electromagnetice. Rotindu-se, electronul se mișcă accelerat, dar conform legilor mecanicii clasice, numai sarcina care se deplasează rectiliniu și uniform nu radiază.

Conform regulilor lui Bohr, electronul poate radia lumină numai atunci cînd trece de pe o orbită pe alta, și numai în porții cu fecvența $\omega = (E_n - E_m)/h$. Aici E_n și E_m sînt valorile posibile pentru energiile orbitei a n-a și a m-a.

Există o orbită cu energie minimă posibilă, stare în care electronul rămîne un timp nelimitat, întrucît nu are unde să mai treacă. Așa s-a explicat stabilitatea atomului. Regulile de cuantificare ale lui Bohr au explicat faptul că atomii emit lumină de frecvențe riguros discrete și au permis să se exprime aceste frecvențe prin sarcina nucleului, sarcina și masa electronului și constanta lui Planck.

În felul acesta, teoria a descris toate proprietățile importante ale atomilor, lăsînd neexplicată semnificația regulilor de cuantificare ale lui Bohr. Niels Bohr și-a denumit pe bună dreptate regulile „postulate" adică presupuneri nedemonstrate.

Semnificația lor a devenit clară numai după apariția mecanicii cuantice.

Regulile de cuantificare ale lui Bohr constituie unul dintre cele mai uimitoare momente din istoria științei. Numai o străfulgerare de geniu a făcut posibilă apariția acestei teorii la acea dată și pe baze atît de șubrede! Comentînd faptul, Einstein a spus: „Aceasta reprezintă cea mai înaltă muzicalitate în domeniul gîndirii teoretice".

Intuiția lui de Broglie

Abia în 1923 s-a petrecut un eveniment menit să explice sensul regulilor de cuantificare. La început însă, el n-a făcut decît să acutizeze problema particulă-undă. Fizicianul francez Louis de Broglie a presupus că particulele se supun aceluiași dualism ca și lumina; particulele trebuie descrise printr-un proces ondulatoriu cu lungimea de undă λ, legată de impulsul p în același fel ca și lungimea de undă a particulelor de lumină (a fotonilor), adică prin relația $\lambda = 2\pi h/p$.

După patru ani, această uimitoare predicțiune era deja confirmată de experiment. C. Davisson, L. Germer și J.P. Thomson au descoperit difracția electronilor în cristale. Electronul se comportă într-adevăr ca o undă!

S-a confirmat astfel nu numai natura ondulatorie a electronului, ci — cu precizie — și formula lui de Broglie pentru lungimea de undă a electronului. Istoria s-a repetat, dar în sens invers: în cazul luminii, a fost studiată întîi natura ondulatorie și abia apoi cea corpusculară, în timp ce în cazul electronului, întîi natura corpusculară și apoi cea ondulatorie.

Mecanica cuantică

Pasul următor îl constituie generalizarea intuiției lui de Broglie. În 1926, Erwin Schrödinger a obținut celebra sa ecuație pentru funcția de undă (funcția ψ) a unei par-

ticule care se mișcă în cîmp extern. În spațiul liber, această ecuație devine ecuația unei unde cu lungimea constantă, soluția ei este tocmai unda lui de Broglie. Dar, în cîmp extern, așa cum ar fi cîmpul coulambian al nucleului, lungimea de undă se modifică de la un punct la altul. În cazul unui cîmp care se modifică lent, este deosebit de ușor să se găsească această ecuație. Atunci și lungimea de undă se modifică lent, și în fiecare punct, ea se determină prin formula lui de Broglie, dar cu un impuls variabil de la un punct la altul, p (r). Acesta poate fi aflat din expresia energiei:

$$E = \frac{\varphi^2(r)}{2m} + U(r)$$

Aici, primul termen este energia cinetică, al doilea, energia potențială. Ecuația lui Schrödinger se obține cu ușurință din ecuația undei a lui de Broglie, în care intră termenul $p^2\psi$, dar unde trebuie schimbat numai impulsul p în p(r). Probabil că niște considerații analoage l-au ajutat și pe Schrödinger să descopere această remarcabilă ecuație.

Mai tîrziu, s-a dovedit că soluțiile ecuației lui Schrödinger pentru atomul de hidrogen sînt în concordanță cu regulile de cuantificare ale lui Bohr, dar nu pentru toate valorile energiei, ci numai pentru valorile discrete care coincid cu valorile decurgînd din regulile lui Bohr. S-au lămurit și multe dintre detaliile structurii atomilor, care nu fuseseră explicate de postulatele lui Bohr. S-a clarificat și sensul regulilor de cuantificare, și anume că în zona în care se mișcă electronul trebuie să intre un număr întreg de unde ale lui de Broglie. Dar despre acestea vom vorbi mai amănunțit în capitolele următoare, unde vom găsi pînă și soluția ecuației Schrödinger simplificată pentru diferite cazuri.

Cu cîteva luni înainte de Schrödinger, Werner Heisenberg a propus o altă variantă a teoriei cuantice. Pornind de la principiul observabilității, el a reprezentat mărimile ca totalitatea amplitudinilor posibile de trecere dintr-o stare a sistemului cuantic în altele. Probabilitatea trecerii este proporțională cu pătratul amplitudinii, mai exact cu pătratul modulului amplitudinii, — aceasta fiind o precizare pentru cei familiarizați cu numerele complexe. Tocmai astfel de amplitudini „de tranziție" se observă în experimente. În atare reprezentare, fiecare mărime are doi indici, care definesc stările inițială și finală ale sistemului. Aceste mărimi se numesc „matrice". De exemplu, coordonatei q îi corespunde o matrice — totalitatea elementelor de matrice q_{mn}, unde

m și n sînt două stări ale sistemului. Heisenberg a găsit un sistem complet de ecuații din care, în principiu, se pot găsi toate mărimile observabile. Totuși, în forma ei inițială, mecanica matricială a lui Heisenberg părea nejustificat de complicată în comparație cu mecanica ondulatorie a lui Schrödinger. Dar, în 1926, Schrödinger a demonstrat echivalența deplină a celor două descrieri. Mecanica matricială și mecanica ondulatorie s-au unificat în cadrul mecanicii cuantice.

Astăzi fizicienii au de-a face în mod firesc cu matricele, iar ecuațiile matriciale nu mai par atît de complicate. Dar, pentru a obține rezultate analitice, este mai comod, ca să spunem așa, să se treacă la reprezentarea coordonatelor, și în locul ecuațiilor pentru matrice, să se rezolve ecuația lui Schrödinger.

În cartea *Lumea probabilistă*, Daniil Danin descrie în toate detaliile și uimitor de poetic drama apariției mecanicii cuantice. Danin relatează un fapt deosebit de instructiv: „În vara anului 1925, pe cînd mecanica ondulatorie încă nu exista, iar cea matricială abia apăruse, doi teoreticieni din Göttingen și-au călcat pe inimă și s-au dus la celebrul David Hilbert, șeful recunoscut al școlii matematice de acolo. Avînd necazuri cu matricele, ei au cerut ajutorul unei autorități de talie mondială. Hilbert i-a ascultat și le-a spus ceva de-a dreptul uimitor; de fiecare dată cînd i s-a întîmplat să aibă de-a face cu aceste tabele pătratice, ele îi apăreau în calcule ca «un fel de produs secundar» la rezolvarea ecuației de undă.

— Astfel că, dacă veți căuta ecuația de undă care generează astfel de matrice, veți reuși, probabil, să le biruiți mai ușor".

După cum spune americanul Edward Condon, cei doi erau Max Born și Werner Heisenberg. Finalul este următorul: „Amîndoi teoreticienii au decis că ori au primit cel mai stupid sfat, ori Hilbert pur și simplu n-a înțeles despre ce este vorba. În schimb, Hilbert s-a amuzat copios, demonstrîndu-le că ei ar fi putut să descopere mecanica ondulatorie cu șase luni înainte de Schrödinger, dacă ar fi acordat mai multă atenție spuselor sale hilbertiene".

Aici se încheie prima etapă a dezvoltării mecanicii cuantice. Cu toate succesele noii mecanici, problema centrală rămînea nerezolvată: ce este funcția de undă, instrumentul de bază al teoriei?

În 1927, Werner Heisenberg a făcut un pas important pe calea înțelegerii semnificației fizice a noii mecanici. Analizînd posibilitatea măsurării coordonatei și impulsului electronului, el a ajuns la concluzia că, în condițiile cele mai avantajoase pentru măsurarea poziției, este dificil să se determine impulsul și invers. În acest sens, cele două noțiuni sînt complementare una față de alta. Pentru demonstrație, el a folosit experimentul mental. Iată pe scurt schema unuia dintre experimente.

Pentru a determina poziția electronului, acesta trebuie iradiat cu lumină și privit la „microscop". Un astfel de mijloc de determinare a coordonatei dă o nedeterminare Δq de ordinul lungimii de undă λ a luminii folosite: $\Delta q \approx \lambda$.

Pentru precizarea poziției electronului, trebuie folosită lumina cu o lungime de undă cît mai mică. Dar aceasta este o sabie cu două tăișuri. La interacțiunea cu electronul, lumina îi dă un impuls. Pentru a micșora impulsul transmis, se poate micșora într-atît intensitatea luminii, încît un singur foton să interacționeze cu electronul. Impulsul minim transmis în acest caz electronului va fi de ordinul de mărime al impulsului unei cuante, iar impulsul cuantei este legat de lungimea de undă prin relația $p = \frac{2\pi h}{\lambda}$, din care cauză nedeterminarea impulsului electronului $\Delta p > 2\pi h/\lambda$. Înmulțind cu λ și înlocuind pe λ cu Δq, obținem: $\Delta q \cdot \Delta p > 2\pi h$.

Aceasta este chiar relația de nedeterminare.

Să încercăm să măsurăm coordonata electronului cu un alt mijloc — vom trece un fascicul de electroni printr-o fantă în ecran; alegem planul ecranului perpendicular pe fascicul. Un experiment asemănător s-a făcut de multe ori cu lumina și se știe bine ce anume se obține. Dacă în spatele fantei se pune un al doilea ecran, pe acesta vom vedea o pată clară cu aceleași dimensiuni ca fanta, dar marginile petei vor fi difuze; pata se mărește. La marginile fantei, lumina se curbează — ceea ce este o consecință a naturii ondulatorii a luminii. Se obține un fascicul luminos în interiorul unui anumit unghi. Acest unghi — unghiul de difracție — are valoarea $\Theta = \lambda/d$, unde λ este lungimea de undă, iar d este diametrul fantei. Dacă distanța dintre fantă și al doilea ecran este l, atunci raza petei de difracție va fi $R = l\Theta = \lambda l/d$. În

jurul petei centrale se succed inele concentrice întunecate și luminoase care scad repede ca intensitate.

Curbarea razelor de lumină se poate observa ușor, dacă se acoperă aproape complet cu o riglă în lumina provenită de la un beculeț. În locul pe unde trece lumina, rigla pare știrbită. Undele sonore sînt mult mai lungi decît cele optice și, din acest motiv, sunetul ocolește mai ușor obstacolele.

Întrucît electronul este legat de procesul ondulatoriu, în mod asemănător se va obține un tablou de difracție și la trecerea unui fascicul de electroni prin fantă. În momentul trecerii prin fantă, coordonata transversală a electronului va fi determinată cu o precizie $\Delta q \sim d$, unde d este diametrul fantei.

Ce se va întîmpla de cealaltă parte a ecranului? Conform legilor difracției, după trecerea prin fantă, se obține un fascicul avînd toate direcțiile, aflat în unghiul de difracție $\Theta = \lambda/d$. Dar acum λ este lungimea de undă a electronului, $\lambda = 2\pi h/p$, unde p este impulsul electronului din fasciculul incident. Schimbarea direcției electronului față de direcția inițială după trecerea lui prin fantă arată că electronul a primit un impuls de recul Δp după direcția transversală, astfel încît

$$\frac{\Delta p}{p} = \Theta = \frac{\lambda}{d}.$$

Înlocuind expresia lui λ și schimbînd pe d cu Δq, obținem din nou relația lui Heisenberg. Efectuînd un mare număr de astfel de experimente mintale cu același rezultat, este inevitabilă concluzia că avem de-a face cu o limitare principială impusă de natură noțiunilor de coordonată și impuls ale unei particule. O astfel de limitare nu exista în fizica clasică; din cauza valorii mici a constantei h, limitarea nu se manifestă atunci cînd se descriu corpuri mari.

Relația de incertitudine este un caz particular și o expresie concretă a principiului general al complementarității, formulat de Niels Bohr în 1927 (vezi p. 58). Nedeterminarea principială a unor mărimi este consecința utilizării noțiunilor clasice pentru descrierea obiectelor neclasice; natura cuantică a microobiectelor este complementară descrierii lor clasice. Dar descrierea clasică a rezultatelor observațiilor este inevitabilă. Toate aparatele de măsură sînt în mod obligatoriu clasice, iar, la măsurare, nedeterminările sînt inaccep-

tabile, aparatul trebuind să dea o valoarea numerică determinată a mărimii măsurate. Vom examina particularitățile observării obiectelor cuantice ceva mai departe.

Semnificația fizică a funcției de undă

Să ne întoarcem la experiența noastră cu fanta practicată într-un ecran. Să așezăm, departe în spatele ecranului, o placă fotografică. Căzînd pe placă, electronul va provoca înnegrirea unei granule de emulsie, după care, coordonata lui va putea fi determinată cu o percizie mergînd pînă la dimensiunea granulei respective. După difracția prin fantă, fasciculul de electroni va imprima pe placă un cerc cu raza $R = l\lambda/d$. Să micșorăm acum intensitatea fasciculului de electroni în așa măsură, încît fiecare electron să cadă pe placa fotografică, să zicem, o dată pe minut. După o așteptare îndelungată, se va obține același tablou ca și în cazul fasciculului intens. Dar electronii au atins placa unul cîte unul, ceea ce înseamnă că unui singur electron îi putem atribui probabilitatea de a cădea într-un loc sau altul. Pentru un singur electron, această probabilitate de distribuție în apropierea plăcii este de așa natură, încît este maximă în centru, scade ușor de la centru către raza R, după care, dincolo de limitele petei de difracție, începe să scadă brusc.

Să urmărim modul în care se realizează relația de incertitudine în experimentul nostru. Pe ecran cad electronii cu un impuls foarte precis determinat — impulsul lor transversal este egal cu zero; ca urmare, coordonata transversală este complet nedeterminată. Acum putem spune mai precis că înainte de trecerea prin fantă, probabilitatea de a găsi electronul în orice punct al ecranului este aceeași. După trecerea prin fantă, impulsul transversal devine nedeterminat, în timp ce coordonata transversală devine ceva mai determinată. Probabilitatea de a găsi un electron pe placa fotografică în afara petei de difracție este mică, iar nedeterminarea coordonatei transversale este $\Delta q \sim R$.

Analiza unor experiențe de acest fel l-a dus pe Max Born (1926) la ideea că funcția de undă descrie probabilitatea uneia sau alteia dintre valorile coordonatei sau impulsului electronului, în funcție de tipul experimentului. Probabilitatea se determină prin pătratul funcției de undă. Cum a ajuns el la această concluzie?

Să ne amintim că teoria fenomenelor ondulatorii ale luminii — interferența și difracția — a fost elaborată cu mult înaintea ecuațiilor lui Maxwell, înainte de a se fi descoperit natura electromagnetică a luminii. Se presupunea numai că sursa de lumină emite unde de natură necunoscută, iar intensitatea luminii este considerată proporțională cu pătratul mărimii care oscilează. În reprezentarea actuală, mărimile care oscilează în spațiu și timp sînt cîmpurile magnetice și cele electrice, iar intensitatea luminii este proporțională cu pătratul acestor mărimi. Dar aproape toate fenomenele ondulatorii nu depind de natura luminii.

Era deci firesc să se considere că și pentru undele legate de particule există un proces ondulatoriu și prin urmare că intensitatea — în cazul nostru probabilitatea — este proporțională cu pătratul funcției de undă.

La început se presupunea că există un anumit cîmp fizic real, asemănător cîmpului electromagnetic din unda luminoasă, care ar fi responsabil de proprietățile ondulatorii ale particulei.

Dar în acest caz un singur electron ar fi produs printr-un singur act toată figura de difracție, în timp ce, de fapt, el provoacă înnegrirea doar a unei singure granule. Acesta este numai unul dintre argumente; această concepție asupra naturii procesului ondulatoriu a trebuit respinsă din mai multe cauze. Așadar, funcția de undă a particulei nu este un cîmp fizic oarecare, ci numai o formă de scriere a variantelor posibile pentru rezultatele uneia sau alteia dintre observările succesive.

Funcția de undă constituie descrierea de maximă completitudine posibilă a stării unei particule. Ea înlocuiește starea clasică, dată de coordonate și viteze.

Funcția de undă care descrie starea cîmpului electromagnetic are aceeași natură; ea nu este un cîmp electromagnetic sau vreun alt cîmp fizic, ci determină numai posibilitatea uneia sau alteia dintre valorile cîmpului în fiecare punct.

Sfîrșitul acestui capitol este consacrat aplicării mecanicii cuantice la cîmp.

Este oare încălcată cauzalitatea?

Predicțiunile mecanicii cuantice nu oferă un răspuns univoc, ci numai probabilitatea unuia sau altuia dintre rezultate. Oricît de precis i-am determina starea înainte de ajungerea

ei pe ecran, este imposibil să se prevadă în care punct al plăcii fotografice va cădea electronul. Se poate indica numai distribuția probabilității de a-l găsi într-un punct sau altul.

Această neunivocitate nu înseamnă oare încălcarea cauzalității? Fizica clasică nu s-a confruntat cu o astfel de nedeterminare. Succesele mecanicii cerești din secolele al XVII-lea și al XVIII-lea au insuflat o încredere profundă în posibilitatea predicțiunilor univoce. Pierre Laplace (1749—1827) a exprimat cu următoarele cuvinte mîndria produsă de posibilitățile nelimitate ale științei: „Dați-mi coordonatele și vitezele tuturor particulelor, iar eu vă voi prevedea viitorul Universului!" Apariția electrodinamicii n-a zdruncinat această convingere. Deși în electrodinamică starea inițială constă nu numai din coordonatele și vitezele particulelor, ci și din distribuția cîmpurilor, predicțiunile ei sînt univoce.

Predicțiunile fizicii statistice clasice au un caracter probabilist. Ele răspund, de exemplu, la întrebarea care este probabilitatea de a găsi o particulă de gaz încălzit avînd o energie sau alta, sau, cu alte cuvinte, oferă predicțiunea distribuției particulelor după energie. Dar aici există o deosebire importantă față de mecanica cuantică. În fizica statistică, probabilitatea rezultă din complexitatea sistemului, din determinarea aproximativă a stării inițiale. În afară de aceasta, sistemul mecanic trebuie să posede o proprietate importantă — el trebuie să fie ergodic. Aceasta înseamnă că o mică inexactitate a datelor inițiale duce, după un timp scurt, la împrăștierea sistemului în toate stările sale posibile. Dar, în spatele tuturor acestora, se află univocitatea legilor mecanicii.

În mecanica cuantică, nedeterminarea este principială, ea decurgînd din complementaritatea proprietăților cuantice și a descrierii clasice. Și, în afară de aceasta, ea se manifestă chiar la cele mai simple obiecte, la observările individuale efectuate asupra unei singure particule.

Marea descoperire a mecanicii cuantice o constituie caracterul probabilist al legilor Universului. La unele întrebări nu se poate răspunde univoc.

După cum știm, este imposibil „să se dea coordonatele și vitezele tuturor particulelor". Ceea ce se poate da, în cel mai bun caz, este funcția de undă a stării inițiale. Mecanica cuantică permite să se obțină univoc funcția de undă în orice moment ulterior. Exclamația lui Laplace poate fi înlocuită printr-o alta, la fel de orgolioasă:„ Dați-mi func-

ția de undă a tuturor particulelor și eu vă voi prevedea viitorul".

De altfel, imposibilitatea de a prevedea viitorul în viața practică nu este legată de nedeterminarea cuantică. Avem de-a face cu sisteme foarte complicate, în care determinarea funcției de undă inițiale este la fel de imposibilă ca și coordonatele și vitezele.

Niels Bohr a remarcat că încercarea de a determina funcția de undă a unui obiect însuflețit duce imediat la moartea a cestuia. Iar viitorul nostru depinde de niște sisteme atît de complicate și nedeterminate cum sînt oamenii. Dar să ne întoarcem la legile fizicii.

Așa dar, nu putem urmări traiectoriile particulelor individuale; cauzalitatea, în accepția lui Laplace, este încălcată, dar în accepția ei mai exactă este respectată. Dintr-o stare inițială cu o determinare maximă decurge în mod univoc singura stare finală posibilă. Numai sensul cuvîntului „stare" s-a schimbat. Situația trebuie luată ca atare: noțiunea de „stare" în sensul atribuit de fizica clasică este principial imposibil de realizat.

Se poate modifica starea unei particule fără a o atinge!

Imposibilitatea de a prevedea în mod univoc rezultatul unui experiment constituia un fapt atît de neobișnuit, încît a trezit multe obiecții. Descrierea oferită de mecanica cuantică este oare completă, sau e nevoie să se construiască o teorie mai exactă, în care totul să fie univoc? Nu trebuie oare modificată interpretarea funcției de undă?

În 1936, Einstein scria: „Această părere este logică și necontradictorie, dar îmi contrazice atît de categoric instinctul științific, încît nu pot renunța la căutarea unei înțelegeri complete".

Disputa dintre Bohr și Einstein, care a durat ani de zile, a dus la aprofundarea și precizarea teoriei măsurării din fizica cuantică. Dezvoltarea ulterioară a științei a confirmat pînă acum poziția lui Bohr cu privire la completitudinea descrierii realității de către mecanica cuantică.

Pentru a înțelege esența dificultăților, trebuie să lămurim particularitățile observațiilor efectuate de mecanica cuantică.

În prinul rînd, proprietățile obiectelor microscopice nu se pot studia făcîndu-se abstracție de procedeul observării.

În funcție de aceasta din urmă, electronul se manifestă fie ca undă, fie ca particulă, fie ca ceva intermediar. Desigur că există și proprietăți independente de procedeul observării, cum ar fi masa, sarcina, spinul particulei, sarcina barionică, momentul magnetic... Dar, ori de cîte ori dorim să măsurăm mărimi care nu au o valoare determinată, rezultatul depinde de procedeul observării. V.A. Fok a denumit această proprietate a obiectelor cuantice „relativitatea față de mijloacele de observare". Fizica precuantică opera numai cu relativitatea legată de mișcare — relativitatea vitezei, sau a formei: din cauza contracției Lorentz, o roată care se învîrtește rapid are aspectul unei elipse. În teoria cuantică, rezultatul depinde de ce anume și cum anume se măsoară în unul și același sistem de coordonate.

Așa cum am amintit mai înainte, cauzele acestei situații nu pot fi înlăturate — sîntem deci obligați să descriem obiectele cuantice în limbaj clasic. Dar, după cum teoria relativității nu diminuează obiectivitatea fenomenelor naturii, ci o pune în evidență, la rîndul ei, relativitatea față de mijloacele de observare din mecanica cuantică nu îngreunează cîtuși de puțin determinarea proprietăților obiective ale microobiectelor. Istoria dezvoltării Universului nu devine mai puțin obiectivă prin faptul că o descriem în limbajul nostru omenesc. Limbajul fizicii clasice, pe care îl vorbesc mijloacele noastre de observare și în care ne formulăm ideile, permite caracterizarea deplină a proprietăților microobiectelor. Inevitabil, dar fără pierderi, ne folosim de niște instrumente subiective pentru descrierea lucrurilor obiective. Fizicianul german Karl Weiszäcker, care a avut multe realizări în teoria nucleului, a spus: „Natura a existat înaintea omului, dar omul a existat înaintea științelor naturii". Totodată, folosirea prea frecventă a cuvîntului „observator" la descrierea măsurărilor din mecanica cuantică produce un sentiment neplăcut. Mi se pare că putem să scăpăm ușor de el — putem renunța la cuvîntul „observator" și sub denumirea de „observare", putem înțelege și procedeul de clarificare al unei întrebări formulate în limbaj clasic. Este ca și cînd am recunoaște forma obiectului, studiindu-i proiecțiile, adică secționîndu-l în diverse planuri.

Să ne întoarcem la aparatul nostru de măsură — la ecranul cu fantă. După trecerea prin fantă, impulsul transversal devine nedeterminat. Acest fapt duce la apariția petei de difracție. Ce s-ar obține însă dacă am preciza impulsul de recul al electronului? În acest scop, ar trebui să construim

un dispozitiv, în care ecranul, împreună cu fanta, să se poată deplasa liber pe direcția transversală. Măsurînd modificarea impulsului ecranului, cu ajutorul legii conservării impulsului, vom găsi și impulsul transversal al electronului. Dacă impulsul transversal este foarte precis determinat, atunci poziția ecranului va fi complet nedeterminată, iar figura de difracție va dispărea — probabilitatea de înnegrire va fi aceeași pentru orice granulă de pe placa fotografică. Electronul va fi descris de aceeași undă plană ca și pînă la ecran, însă cu o nouă valoare determinată a impulsului.

Acum ați văzut operînd principiul relativității față de mijloacele de observare! Modul în care se înnegrește placa fotografică depinde de observarea mișcării ecranului. Să presupunem că ecranul și placa fotografică se află în orașe diferite. S-ar părea că măsurînd într-un oraș, aș putea să influențez rezultatul măsurătorii din celălalt oraș... Asta nu aduce oare a misticism? Oare fenomenul nu ar putea fi folosit pentru o legătură extrasenzorială? Întrebarea este atît de importantă, încît trebuie să ne pună pe gînduri. Iar cel mai bun mijloc de reflecție este să obținem același lucru prin alte mijloace. I. Manin spune în cartea pe care am amintit-o: „A gîndi, înseamnă a calcula, emoționîndu-te".

Să întreprindem deci încă un experiment mental. Să mai practicăm încă o fantă la o distanță mare de prima, iar apoi să privim ce se petrece atunci cînd pe ecran ajunge un fascicul de lumină. Pe al doilea ecran, vom vedea o figură de interferență bine cunoscută în optică. În afară de cele două pete luminoase, în dreptul fiecărei fante se obține un sistem de curbe luminoase și întunecate, care umplu suprafața dintre pete. Locurile luminoase vor fi acelea în care undele venite de la fiecare dintre fante se adună, iar cele întunecate, acelea în care undele se scad. Acesta este fenomenul de interferență. Dacă obturăm una dintre fante, tot acest tablou minunat dispare.

Se înțelege că la fel vor sta lucrurile și cu electronii. Oricît de rar ar cădea ei, pe placa fotografică se va obține în cele din urmă tot figura de interferență. Dacă vom acoperi cu un capac una dintre fante, pe placa fotografică nu se va mai produce interferența, ci va apărea numai pata de difracție.

Aici se manifestă încă o particularitate importantă a mecanicii cuantice: funcția de undă se compune din funcțiile de undă ale fenomenelor care se exclud reciproc. Această proprietate se numește „principiul superpoziției". Să acoperim cu un capac una dintre fante — atunci electronul trece

în mod obligatoriu prin cealaltă, iar capacul nu-i influențează funcția de undă. Să notăm această funcție cu Φ_1. Să mutăm capacul pe cealaltă fantă și să notăm noua funcție cu Φ_2. Dacă sînt deschise ambele fante, funcția de undă Φ este egală cu suma lui Φ_1 și Φ_2: $\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$. Probabilitatea de a găsi electronul în vreun punct al plăcii fotografice va fi $P = |\Phi|^2 = |\Phi_1 + \Phi_2|^2$.

Dacă Φ_1 și Φ_2 sînt egale în vreun punct, obținem probabilitatea $P = 4|\Phi_1|^2 = 4P_1$, iar dacă Φ_1 și Φ_2 sînt opuse, $P = 0$ și electronii nu cad în acele locuri. Dacă fantele vor fi deschise alternativ, se vor compune nu funcțiile de undă, ci probabilitățile. Probabilitatea corespunzătoare va fi atunci:

$$P' = |\Phi_1|^2 + |\Phi_2|^2 = P_1 + P_2.$$

Interferența dispare, întrucît mărimile P_1 și P_2 sînt pozitive și nu se pot anula reciproc. Aceste formule simple lămuresc lucruri pe care le-am obținut și fără folosirea lor.

Observăm că orice încercare de a preciza traiectoria, selecționînd cazurile în care electronul trece printr-o singură fantă, distruge interferența. Și în acest caz, observația efectuată la Moscova pare că ar influența rezultatele experiențelor de la Paris.

Mai există un fapt, la prima privire nu mai puțin straniu: după fiecare măsurare, funcția de undă se schimbă printr-un salt. Într-adevăr, după măsurarea impulsului de recul, a apărut, printr-un salt, unda cu noul impuls. Pînă la căderea lui pe placa fotografică, în această stare, electronul putea fi găsit cu aceeași probabilitate în orice loc; după înnegrirea granulei, nedeterminarea poziției lui s-a schimbat printr-un salt într-un interval de timp neglijabil, fiind dată acum de dimensiunile granulei. Acest fenomen are o denumire frumoasă: „reducția funcției de undă" sau „reducția pachetului de undă".

Tocmai posibilitatea stranie de a modifica funcția de undă a particulei fără a acționa însă asupra ei a constituit principalul argument fizic din celebrul articol al lui Einstein, Podolsky și Rosen „Poate fi considerată completă descrierea realității fizice de către mecanica cuantică?" (1935). Ei scriau: „întrucît aceste sisteme nu mai interacționează, atunci, oricare ar fi operațiile din primul sistem, în cel de-al doilea nu se pot obține nici un fel de schimbări reale".

Să urmărim fenomenul pe un exemplu extrem de simplu, în care el va deveni banal. Să admitem că știm impulsurile a două particule înainte de ciocnirea lor, și că, după ciocnire,

una dintre ele trece printr-un laborator din Dubna, în timp ce a doua, prin instalațiile de măsură de la Saclay, de lîngă Paris. Dacă fizicianul din Dubna obține pentru impuls o valoare determinată, cu ajutorul legii conservării impulsului, el poate calcula impulsul particulei pariziene. Prin urmare, funcția de undă a acestei particule a fost determinată ca rezultat al măsurării la Dubna — ea corespunde unui impuls determinat.

Dar acest fapt nu este straniu, ci reprezintă doar un caz obișnuit de schimbare a probabilității unei predicțiuni o dată cu fiecare nouă informație. Se pune întrebarea: care este probabilitatea ca parizianul să găsească o valoare sau alta a impulsului, cu condiția ca la Dubna să fie găsit un impuls determinat? Aceasta înseamnă că trebuie să se ia întreaga mulțime de măsurători ale impulsului la aceste două laboratoare și să se aleagă din această mulțime acele cazuri în care la Dubna s-a obținut impulsul respectiv. După o astfel de alegere, toate măsurările pariziene vor avea și ele un impuls determinat. În esență, este vorba pur și simplu de confirmarea legii conservării impulsului. Pot exista și situații mult mai complicate, dar de fiecare dată, influența măsurărilor dintr-un subsistem asupra măsurărilor din alt subsistem trebuie înțeleasă tocmai în sensul selectării cazurilor corespunzătoare unei condiții bine determinate. Probabilitatea unui eveniment care îndeplinește o anumită condiție se numește „probabilitate condiționată".

O condiție suplimentară ne obligă să alegem o altă succesiune a evenimentelor. Desigur că în acest caz posibilitățile se schimbă și, prin urmare, se schimbă și funcția de undă.

Care este probabilitatea unui accident de automobil, sau, cu alte cuvinte, cîte automobile suferă un accident? Răspunsul depinde de multe condiții. Astfel, predicțiunea se modifică în salturi, dacă se adaugă specificarea „în condițiile defectării frînelor" sau „cu un șofer experimentat". Care este probabilitatea de a emite o judecată incorectă în mecanica cuantică? Această probabilitate crește brusc, dacă adăugăm condiția „fără să reflectăm". Iată o afirmație destul de răspîndită: „oricît s-ar îndepărta două subsisteme, ele rămîn strîns legate". Acesta este un nonsens fizic împotriva căruia s-au ridicat pe bună dreptate Einstein, Podolsky și Rosen. Iar explicația este următoarea: subsistemele aflate la distanță mare nu sînt desigur în nici un fel legate între ele, ci sînt independente. Dar probabilitatea condiționată pentru unul dintre subsisteme, depinde, desigur, de starea aleasă pentru cel de-al

doilea subsistem. Iar acest fenomen, după cum vedem, nu este specific cuantic, ci se întîlnește și în fizica clasică și chiar în viața de zi cu zi. Predicțiunea se schimbă în salturi la modificarea condițiilor de selectare a evenimentelor.

„Se poate îndrepta, dar va fi mai rău...“ (din discuția cu un croitor)

Trebuie căutată oare o altă interpretare a mecanicii cuantice? Mi se pare că lucrul cel mai important — și anume caracterul probabilist al predicțiunilor — se va menține oricare vor fi schimbările teoriei. Mecanica cuantică, împreună cu teoria măsurătorilor constituie o teorie logic încheiată și deosebit de frumoasă. Toate încercările de a o „perfecționa“ s-au dovedit pînă acum inconsistente și, în cel mai bun caz, s-au limitat a răspunde la întrebarea: cum se pot obține rezultatele cunoscute ale mecanicii cuantice într-un mod mai puțin frumos și mai complicat? Vom vedea imediat că singura încercare mai mult sau mai puțin consecventă de „îndreptare“ contrazice experimentul.

În perioada controverselor furtunoase despre completitudinea mecanicii cuantice, a apărut următoarea ideeî nu cumva nedeterminarea din comportarea electronului s-ar putea explica prin faptul că starea lui depinde nu numai de impuls, de coordonată și de proiecția spinului, ci și de anumiți

parametri interni ascunși? Ca și în fizica statistică, nedeterminarea rezultatului ar apărea doar din cauza caracterului arbitrar al valorii acestor parametri. În principiu, dacă parametrii ascunși ar putea fi determinați, predicțiunile ar deveni și ele determinate, la fel ca în mecanica clasică.

Desigur, acest mijloc de a salva determinismul este foarte stîngaci și incomod, căci prețul este costisitor — introducerea unor parametri suplimentari. Or, la început se reușise numai reconfirmarea relațiilor deja cunoscute din mecanica cuantică. Un timp se părea că o asemenea cale nu se deosebește de loc prin consecințele sale de mecanica cuantică. În cazul măsurării unice, prin jocul parametrilor ascunși s-a reușit să se obțină coincidența cu mecanica cuantică. Totuși, la repetarea măsurătorilor, această coincidență nu mai este întotdeauna posibilă.

Prima măsurare limitează atît de mult valorile posibile ale parametrilor ascunși, încît la cea de-a doua măsurare, libertatea lor este insuficientă pentru conformitatea cu mecanica cuantică. Acest fapt a fost prezentat cel mai convingător de John Bell în 1966. Pentru a-l demonstra, i-a fost suficient să presupună că valorile parametrilor ascunși din subsistemele separate sînt independente. Dar acești parametri au fost introduși tocmai pentru a evita „dependența" probabilistă a unor obiecte pe care mecanica cuantică le consideră separate. Cu alte cuvinte, afirmațiile lui Bell nu provoacă îndoieli.

Astfel, s-au indicat experimentele prin care se poate vedea deosebirea dintre predicțiunile mecanicii cuantice și teoria parametrilor ascunși. În 1972, Stewart Friedman și John Clauser au efectuat un atare experiment. Ei au observat lumina emisă de atomii de calciu excitați. În condițiile experimentului lor, calciul emitea succesiv două cuante de lumină vizibilă, care se puteau separa cu ajutorul unui simplu filtru de lumină. După trecerea printr-un polarimetru, care selecta o direcție de polarizare determinată, fiecare cuantă cădea în contorul ei. S-a urmărit numărul de coincidențe ale contoarelor ca funcție de unghiul dintre direcțiile de polarizare ale celor două cuante. Teoria parametrilor ascunși prevede scăderi bruște ale curbei care reprezintă această dependență. Experimentul nu numai că nu a confirmat scăderile, ci a demonstrat că această curbă experimentală coincide cu o precizie surprinzătoare cu cea teoretică, obținută din mecanica cuantică.

Deci nu există nici un fel de parametri ascunși. Mecanica cuantică a avut încă odată dreptate. Microobiectele n-au un determinism de tip Laplace.

Oricît ar părea de uimitor, parapsihologii au receptat acest rezultat ca pe o posibilă fundamentare a fenomenelor extrasenzoriale. Și trebuie să spun că eu am aflat pentru prima dată despre experiențele lui Friedman și Clauser de la un parapsiholog american. Majoritatea fizicienilor, inclusiv eu însumi, eram convinși de corectitudinea mecanicii cuantice și eram atît de sceptici în privința ideii parametrilor ascunși, încît încetaserăm să mai urmărim evenimentele din acest domeniu.

Fraza imprudentă „două subsisteme rămîn strîns legate și după depărtarea lor la mare distanță unul de celălalt", s-a dovedit nu chiar inofensivă. Dacă nu se ține seama de natura probabilistă a funcției de undă, se poate crede că legătura dintre subsisteme este fizică. De fapt, însă legătura nu este materială, ci informațională, în sensul probabilității condiționate despre care a și fost vorba mai înainte. Sistemele fizice legate strîns între ele la distanțe mari reprezintă o cale directă pentru explicarea multor fenomene extraordinare. Experimentul lui Friedman și Clauser n-a făcut decît să confirme mecanica cuantică, în care nu există nici un fel de încălcare a principiilor fizice. Cauzalitatea se respectă: cauza precede efectul; nu se poate produce o interacțiune fizică fără ca un cîmp oarecare să se propage de la obiectul emițător la cel receptor, iar viteza de propagare a acestui cîmp este mai mică sau egală cu viteza luminii.

Iată încă un fapt fizic pe care unii parapsihologi încearcă să-l folosească și care nu are nici el vreun fel de relație cu fenomenele extrasenzoriale. Din mecanica cuantică relativistă rezultă — și faptul a fost dovedit experimental —, că pe lîngă particule mai există și antiparticule: o dată cu electronul există și pozitronul, o dată cu protonul, și antiprotonul. Antiparticulele sînt tot niște obiecte fizice, la fel ca și partenerii lor mai răspîndiți și, așa după cum se și consideră, ele se mișcă înainte în timp. Există totodată și o consecință foarte interesantă, dar nu de natură fizică, ci de natură matematică, a înrudirii antiparticulelor cu particulele: antiparticula poate fi privită ca o particulă care se mișcă în spre trecut. Convenționalitatea acestei afirmații este evidentă și din faptul că putem cu același succes mișca îndărăt în timp și particulele.

Dacă acest fapt matematic este interpretat ca un fenomen fizic, atunci se poate ajunge la o absurditate fizică: de vreme

ce pozitronul este un electron venit la noi din viitor, nu se poate afla oare cu ajutorul lui, ce va fi cu noi în viitor? Nu s-ar putea astfel fundamenta ştiinţific prezicerile reuşite ale ghicitoarelor? Sau, întrucît pozitronul generat alături este de fapt un electron venit nu numai din viitor, ci şi de la mare distanţă, nu se pot vedea astfel oare obiectele îndepărtate?

Trebuie să-i dezamăgesc pe partizanii miracolelor: mecanica cuantică relativistă, ca şi cea nerelativistă, de altfel, nu oferă nici un fel de baze ştiinţifice pentru fenomenele extrasenzoriale. Şi în această teorie, viitorul este urmarea trecutului şi este determinat, în conformitate cu cauzalitatea, de evenimentele care s-au petrecut înaintea momentului predicţiunii. Vederea la distanţă este posibilă numai cu ajutorul unui aparat analog televizorului: trebuie să existe o sursă a vreunei radiaţii care să transmită informaţia spre receptor, iar radiaţia se propagă cu o viteză nu mai mare decît viteza luminii.

La fel ca în fizica clasică, în fizica cuantică nu se relevă nici un fel de fapte care să ajute la înţelegerea sau fundamentarea fenomenelor extrasenzoriale. Dacă aceste fenomene există, fundamentarea lor trebuie căutată în afara fizicii.

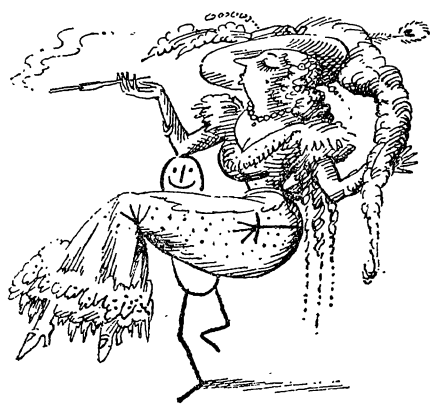
Calcule fără calcule

Dacă matematica este arta de a evita calculele, fizica teoretică este arta de a te descurca fără matematică.

Din conversaţii

Cum lucrează fizicienii teoreticieni în primul stadiu, respectiv la începutul cercetării, atunci cînd se face o analiză calitativă a unei probleme? După cum vom vedea, în această etapă se obţin fără nici un fel de calcule relaţiile aproximative dintre mărimile care intră în problemă, se clarifică tabloul fizic al evenimentelor şi se conturează proiectul soluţiei aşteptate. Următorul stadiu, care este obţinerea relaţiilor cantitative cu ajutorul aparatului matematic al teoriei, se bazează în întregime pe primul stadiu. Fără să ai un proiect

ipotetic al soluției, fără o analiză calitativă, nu este posibil să se treacă la căutarea rezultatului exact. Într-adevăr, se reușește numai demonstrarea acelor afirmații care au fost dinainte intuite. Această regulă nu admite aproape nici o excepție. Henri Poincaré scria: „Intuiția precede demonstrația. Trebuie oare să mai menționez că tocmai în acest fel s-au făcut toate descoperirile importante?"



Unul dintre elementele principale ale analizei calitative îl constituie rezolvarea problemei pe modele mai simple, din care se înlătură tot ceea ce este neesențial. Este incomparabil mai simplu să complici problema decît să rezolvi dintr-o dată o problemă complicată.

Estimări dimensionale

În unele cazuri, simpla analiză dimensională clarifică multe lucruri. Este vorba de aprecierea dimensională a mărimilor care intră în problema dată și de relațiile dintre mărimi. Să demonstrăm, de exemplu, teorema lui Pitagora, prin raționamente dimensionale. Din analiza dimensională rezultă că aria unui triunghi dreptunghi poate fi scrisă ca pătratul ipotenuzei, c^2, înmulțit cu o funcție oarecare de unghi $f(\alpha)$ (ca o precizare, să-l alegem pe α ca unghiul dintre ipotenuza c și cateta mai mare). Același lucru este valabil și pentru ariile celor două triunghiuri dreptunghice asemenea, ale căror ipotenuze

sînt catetele a și respectiv b ale triunghiului inițial, în timp ce înălțimea din unghiul drept este cateta lor comună. Atunci:

$$c^2f(\alpha) = a^2f(\alpha) + b^2f(\alpha)$$

Simplificînd cu $f(\alpha)$, obținem teorema lui Pitagora.

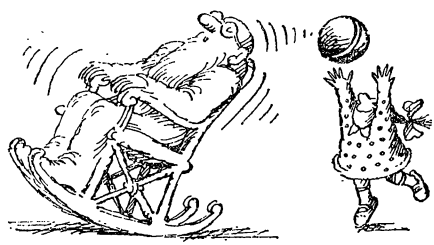
Să estimăm perioada oscilațiilor unui pendul. Pentru a simplifica, să presupunem că o greutate cu masa m este atîrnată de o tijă ușoară, a cărei masă poate fi neglijată. Mai înainte de toate, să clarificăm ce mărimi pot intra în expresia perioadei oscilațiilor. Întrucît forța care deplasează pendulul spre poziția de echilibru este forța de greutate, perioada poate depinde de accelerația gravitațională g și de masa pendulului, m. În afară de aceasta, în formulă mai poate intra, de asemenea, lungimea pendulului, l. Desigur că astfel de mărimi cum ar fi temperatura și vîscozitatea aerului sînt neesențiale dacă neglijăm amortizarea pendulului. Dacă nu luăm în considerare accelerația lui Coriolis, care apare din cauza mișcării punctului de suspensie al pendulului o dată cu Pămîntul, atunci în problemă nu va apare nici viteza de rotație a planetei noastre. După cum se vede, pentru a simplifica o problemă, trebuie să știi ce anume se poate neglija! Din cele trei mărimi rămase, g, m și l, se poate alcătui numai o singură combinație care să aibă dimensiunea timpului. Această mărime este $\sqrt{l/g}$, deci perioada $T = a\sqrt{l/g}$.

Masa m nu a intrat în problemă. Constanta adimensională a nu poate fi găsită din estimări dimensionale; despre ea se poate spune că nu este nici prea mare, nici prea mică, fiind de ordinul unității. Într-adevăr, această mărime trebuie găsită din rezolvarea ecuației de mișcare a pendulului, ecuație pe care noi n-am scris-o, iar numerele care apar din rezolvarea ecuațiilor întîlnite în fizică, au, de regulă, ordinul de mărime al unității. Rezolvînd exact, obținem pentru a valoarea 2π. În acest fel, fără calcule, folosindu-ne numai de analiza dimensională, am dedus că perioada de oscilație a pendulului nu depinde de masă și că este proporțională cu rădăcina pătrată a lungimii. Mai mult, am găsit totodată valoarea aproximativă a perioadei de oscilație.

Oscilatorul generalizat

În toate ramurile fizicii se întîlnesc probleme legate de oscilația în jurul poziției de echilibru. Indiferent de structura sa, un astfel de sistem se numește „oscilator" — el osci-

leazã în jurul poziției sale de echilibru. Cel mai simplu oscilator este o greutate legată de un resort, sau un pendul; altul, mai complicat, este coarda sonoră întinsă, care poate avea mai multe tipuri de oscilații: cu ventrul la mijloc (tonul fundamental), cu un nod, cu două noduri ș.a.m.d. (tonuri armonice superioare). Coarda constituie un grup de oscilatori de diverse frecvențe. Un exemplu similar este coloana de aer dintr-un tub de orgă. Aerul din tub poate fi făcut să vibreze cu frecvența cea mai scăzută (tonul fundamental) sau cu o frecvență mai mare, cînd în cîteva puncte ale coloanei particulele de aer rămîn nemișcate, constituind analogul nodurilor din oscilațiile corzii.



Energia sistemului oscilant constă din doi termeni, fapt comun tuturor oscilațiilor. Un termen este proporțional cu pătratul deplasării oscilatorului față de poziția sa de echilibru și reprezintă energia potențială. Dacă q este mărimea abaterii față de poziția de echilibru, atunci energia potențială este egală cu:

$$U = \gamma q^2/2$$

Coeficientul γ se numește „constanta elastică" a oscilatorului. Cel de-al doilea termen, energia cinetică, poate fi scris sub forma $T = \beta q'^2/2$, unde q' este viteza de variație a lui q în raport cu timpul. Mărimea β se poate denumi „masa oscilatorului". Dacă deplasăm oscilatorul cu mărimea q_0, față de poziția de echilibru, atunci rezerva de energie potențială va fi

$$U = \gamma q_0^2/2.$$

Întrucît oscilatorul tinde să revină la poziția de echilibru, această energie potențială va începe să se transforme treptat în energie cinetică, iar atunci cînd oscilatorul va trece prin poziția de echilibru, întreaga energie potențială se va fi

transformat în energie cinetică. În acel moment, viteza oscilatorului, q', este maximă. În virtutea inerției, oscilatorul va depăși poziția de echilibru, iar în punctul $-q_0$ toată energia cinetică va trece în energie potențială, după care va începe mișcarea spre direcția de echilibru. Oricum s-ar realiza în mod concret oscilatorul, pulsația sa, ω ($\omega = 2\pi/T$) se exprimă în modul următor cu ajutorul constantei elastice γ și masa β : $\omega = \sqrt{\gamma/\beta}$ sau $T = 2\pi\sqrt{\beta/\gamma}$.

În cazul pendulului, rolul constantei elastice îl joacă mprimea g, iar cel al „masei", lungimea *l*. În acest fel pot fi examinați toți oscilatorii, independent de natura lor fizică.

Iată încă un oscilator, complet diferit de cei dinainte, dar căruia i se pot aplica aceleași formule. Capetele unei bobine alcătuite dintr-o sîrmă cu conductibilitate bună se leagă la bornele unui condensator. Energia acestui sistem constă din doi termeni: energia cîmpului magnetic din bobină și energia cîmpului electric, proporțională cu pătratul sarcinii Q, care, în momentul respectiv, se află pe armăturile condensatorului. Dacă sarcina Q este considerată coordonata oscilatorului, atunci energia condensatorului va juca rolul energiei potențiale. Energia cîmpului magnetic al bobinei este proporțională cu pătratul intensității curentului care trece în momentul respectiv prin bobină. Dar intensitatea curentului este egală cu viteza Q' de variație a sarcinii condensatorului în raport cu timpul. Energia cîmpului magnetic este proporțională deci cu Q'^2 și corespunde energiei cinetice. Un astfel de oscilator se numește „circuit electric oscilant".

Dacă în bobină se introduce, apoi se scoate un magnet, în circuit vor lua naștere oscilații electromagnetice — energia magnetică va trece în energie electrică și invers. Cu cît este mai mică rezistența firelor din bobină, cu atît oscilațiile vor fi mai încet amortizate. Dacă bobina este alcătuită dintr-un supraconductor, în mod practic, oscilațiile nu se vor mai amortiza.

Cum să intuiești soluția?

Uneori proprietățile soluției se pot clarifica înainte de formularea teoriei, înainte de găsirea ecuației care descrie fenomenul respectiv. Procedeul folosit în acest scop constituie un exemplu de analiză dimensională mai complexă decît în cazul oscilatorului.

Una dintre cele mai dificile probleme nerezolvate ale fizicii teoretice este legătura dintre fenomenele gravitaţionale şi cele electrodinamice.

Dacă o astfel de legătură există, atunci, ca rezultat al rezolvării unor ecuaţii încă nededuse, se va obţine un număr adimensional care corelează între ele constanta gravitaţională G şi mărimile caracteristice ale electricităţii, cum ar fi viteza luminii c, sarcina electronului e şi masa lui, m. Dacă efectele cuantice joacă un rol esenţial, atunci poate fi introdusă şi constanta lui Planck, h, care, după cum am văzut, caracterizează salturile energiei oscilaţiilor electromagnetice.

Cunoscînd dimensiunile mărimilor G, c, e, m şi h, nu e greu să ne convingem că din ele se pot obţine numai două combinaţii adimensionale independente:

$$\alpha = \frac{e^2}{hc} \text{ şi } \xi = \frac{hc}{Gm^2}$$

Prima formulă este bine cunoscută şi se numeşte „constanta structurii fine". Calculînd valorile lor numerice obţinem:

$$\alpha = 1/137; \quad \xi = 5 \times 10^{44}.$$

Poate oare un număr atît de mare, cum este ξ, să apară în urma rezolvării vreunor ecuaţii acceptabile? Numerele adimensionale care figurează în problemele fizice sînt de obicei de ordinul cîtorva unităţi sau constituie fracţiuni ale lui unu. Din acest motiv, avem dreptul să ne aşteptăm ca mărimea respectivă să apară în problemă astfel încît rezultatul să fie apropiat de unu. Pînă acum am acţionat pe baza bunului simţ. Acum trebuie să facem însă un mic salt logic bazat pe intuiţie.

Este verosimil ca în teorie să intre logaritmul natural al lui ξ ($\ln\xi \sim 100$) în combinația $\alpha \ln\xi \sim 1$. În această combinație nu mai apar numere mari. Cunoașterea unor asemenea relații înlesnește găsirea soluției.

Corecțiile la electrodinamica în cîmp intens

Această problemă este mai complicată, dar ne va oferi o oarecare imagine despre un procedeu important al fizicii contemporane, și anume graficele lui Feynman. Metoda graficelor, sau a diagramelor a produs o revoluție în calculele teoretice. Esența metodei constă în reprezentarea fenomenelor sub forma unor desene care se descifrează la sfîrșitul lucrării. Chiar și fără descifrare, numai ca ilustrare a proceselor, aceste grafice clarifică multe lucruri. De exemplu, desenul de mai jos semnifică nașterea și anihilarea unei perechi electron-pozitron cu ajutorul unui foton, cu condiția ca prin linia punctată să înțelegem cuanta, iar prin liniile cu diferite săgeți, electronul și pozitronul.

Punctele de pe grafic reprezintă actul de interacțiune dintre cuantă și electron. Fiecare act aduce în calcul factorul e, iar întregul grafic arată cum se modifică legea de propagare a cîmpului electromagnetic din cauza generării temporare a perechii electron-pozitron.

Vidul reprezintă în sine un mediu complicat, în care în mod virtual — pentru un timp — se nasc perechi particulă-antiparticulă. Afirmațiile de mai sus vor deveni deosebit de clare după lectura capitolului următor. De aceea, nu există nici un fel de motive să se creadă că ecuațiile lui Maxwell vor mai rămîne liniare oricît de intense ar deveni cîmpurile. Să evaluăm ordinul de mărime al corecțiilor la aceste ecuații.

Corecția la ecuațiile lui Maxwell se evaluează cel mai bine urmărind modificarea unei mărimi adimensionale, constanta dielectrică, sub influența unui cîmp electric, de exemplu.

Din ce cauză constanta dielectrică, de care depinde viteza de propagare a luminii în vid, se schimbă în prezența cîm-

pului extern? Doar cîmpul extern nu acționează asupra luminii. Mecanismul este următorul: lumina generează temporar perechea electron-pozitron, iar particulele create interacționează cu cîmpul extern.

Procesul arată astfel:

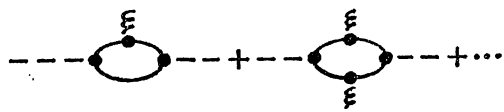


Figura de mai sus arată cum se modifică legea de propagare a fotonului în cîmp extern.

Cuanta generează temporar o pereche, iar electronul și pozitronul interacționează cu cîmpul extern (linia ondulată). Fiecare includere a cîmpului extern aduce un factor eE, unde E este intensitatea cîmpului extern.

Acum nu este dificil de compus o combinație adimensională care să reprezinte corecția la constanta dielectrică. Vom obține mai întîi o combinație adimensională care conține cîmpul E. Întrucît eE are dimensiunile energiei, împărțită la lungime, iar mărimea h/mc are dimensiunile lungimii, expresia

$$\beta = \frac{eEh/mc}{mc^2} \text{ nu are dimensiuni.}$$

Privind desenul, nu-i dificil de dedus cum trebuie să arate corecția la constanta dielectrică:

$$\delta\varepsilon = \frac{e^2}{hc}\, f\left(\frac{eEh}{m^2c^3}\right),$$

unde f este o funcție arbitrară. Sarcina e intră în primul factor la pătrat, întrucît inițial s-a generat o pereche, iar cîmpul E intră în funcție sub forma combinației adimensionale β. La cîmpuri relativ slabe, funcția f poate fi dezvoltată în serie. Seria va începe cu termenul $\sim E^2$, întrucît E este vector, iar în răspuns intră numai mărimea scalară, adică numai pătratul vectorului E.

Așadar:

$$\delta\varepsilon = \frac{e^2}{hc} \cdot \frac{E^2}{E_k^2}$$

Primul factor, $e^2/hc = 1/137$. Mărimea $E_k = m^2c^3/eh$ are dimensiunile intensității cîmpului. Numeric, ea este egală cu 10^6 V/cm.

Chiar dacă vom adăuga un cîmp imens $E \sim E_k$, corecția la ecuațiile lui Maxwell va fi și în acest caz $\sim 1/137$.

Teoria cuantică a particulelor și cîmpurilor

Descartes nu ne-a învățat numai să ne îndoim, ci și să rezolvăm ecuații.

Am amintit pînă acum de cîteva ori despre semnul h, constanta lui Planck, fără s-o folosim. Este timpul să intrăm în subiect și să arătăm în formule și nu în cuvinte cum ia parte această constantă la fenomenele cuantice. Concomitent, vom înțelege mai bine ce reprezintă în sine analiza calitativă și modul cum operează ea. Vom obține cele mai importante relații ale mecanicii cuantice, folosindu-ne numai de considerente calitative, înlăturînd dificultățile neesențiale. Vom găsi nivelele de energie ale atomului, ale corpului care se rotește, ale oscilatorului și vom examina consecințele aplicării mecanicii cuantice la cîmpul electromagnetic și la alte cîmpuri.

Cuantificarea atomului

Conform mecanicii cuantice, în atom, energia electronului poate avea numai valori discrete.

Valorile permise pentru energia electronului aflat în cîmpul unui nucleu de sarcină Z (pentru hidrogen, $Z = 1$) sînt date de expresia:

$$E_n = \frac{mZ^2e^4}{h^2} \cdot \frac{1}{2n^2}$$

Diferența valorilor lui E_n pentru diverși n, ($n = 1, 2, 3...$) determină cu mare precizie frecvențele posibile ale liniilor

spectrale observate în experimente. Această formulă este rezultatul rezolvării exacte a ecuației lui Schrödinger pentru funcția de undă care descrie mișcarea electronului. Să vedem la ce rezultat ne duce analiza calitativă.

După cum știm, conform ideii lui de Broglie, fiecare particulă — în cazul nostru, electronul — se caracterizează printr-un proces ondulatoriu cu lungimea de undă

$$\lambda = \frac{2\pi h}{mv}$$

unde v este viteza particulei. Valorile discrete ale energiei se obțin din condiția ca pe distanța pe care se mișcă electronul, să intre un număr întreg de unde. Dacă raza orbitei este r, electronul descrie o traiectorie de lungime $2\pi r$, iar celei de-a n-a stări a electronului îi corespunde condiția $2\pi r/\lambda = n$, sau $v = hn/mr$. De aici, nu este greu de obținut energia cinetică în starea a n-a:

$$T_n = \frac{mv^2}{2} = \frac{h^2n^2}{2mr^2}$$

Energia totală a electronului se obține adunînd energia lui cinetică și potențială în cîmpul nucleului, aceasta din urmă fiind negativă și egală cu $-Ze^2/r$.
Energia totală devine:

$$E_n(r) = \frac{h^2n^2}{2mr^2} - \frac{Ze^2}{r}$$

Distanța r caracterizează acea zonă a distanței la care se găsește cu predilecție electronul; ea se poate evalua din condiția ca energia totală să fie minimă. Bineînțeles, energia respectivă se obține la o rază r, pentru care primul termen este aproximativ egal cu cel de-al doilea. Într-adevăr, pentru valori mici ale lui r, cînd primul termen este mai mare decît cel de-al doilea, energia se micșorează la creșterea lui r, iar pentru valori mari ale lui r, cînd cel de-al doilea termen este mult mai mare decît primul, este convenabil să-l micșorăm pe r. Un calcul exact dă pentru minimul energiei condiția $2T = V$. În acest fel obținem $\frac{h^2n^2}{mr^2} = \frac{Ze^2}{r}$, de unde

$$r = \frac{h^2n^2}{mZe^2}.$$

Pentru n = 1, această expresie reprezintă o estimare corectă a razei atomului în starea cea mai joasă. Introducînd valoarea lui r în expresia lui E_n (r), obținem:

$$E_n = -\frac{m Z^2 e^4}{h^2} \cdot \frac{1}{2n^2}$$

adică exact expresia pe care am prezentat-o la început.

În realitate, electronul se poate găsi, cu diverse probabilități, la orice distanță de nucleu. Simplificarea noastră constă în presupunerea că distanța este determinată, egală cu r și că se poate găsi din condiția de minimum a energiei. Desigur că am procedat aproximativ. Din acest motiv, nu putem avea încredere în factorul numeric din fața formulei. Dar tot restul s-a obținut corect. (Și factorul mZ^2e^4/h^2 și, ceea ce este deosebit de important, dependența față de „numărul cuantic" n).

O rezolvare corectă ar fi necesitat cunoașterea ecuației fundamentale a mecanicii cuantice, ecuația lui Schrödinger și a unei matematici foarte complicate comparativ cu noțiunile școlare. Ceea ce am obținut reprezintă tocmai soluția calitativă, cînd rezultatul este de o precizie pînă la un factor numeric necunoscut, diferit față de unitate de un număr de ori, dar care redă corect caracterul dependenței față de parametrii problemei. Rezolvarea calitativă ușurează extraordinar obținerea soluției exacte, întrucît clarifică trăsăturile principale ale fenomenului. Mai mult, dacă există o soluție calitativă, iar soluția exactă nu se poate obține analitic, aceasta din urmă se poate afla cu ajutorul calculatoarelor fără pierderi esențiale în ce privește înțelegerea problemei.

Cuantificarea rotației

După cum vom vedea imediat, aplicarea mecanicii cuantice la un corp în rotație va avea drept consecință „îngrădirea" momentului cinetic; acesta nu mai poate lua orice valoare, ca în mecanica clasică, ci doar valori multiple de h. Acest lucru este valabil și pentru momentul total, și pentru proiecția lui pe o axă oarecare. De aceea, un corp care se rotește nu se poate înclina sub orice unghi, ci numai sub anumite unghiuri. Am amintit despre cuantificarea rotației în secțiunea consacrată frumuseții științei, atunci cînd am examinat simetriile interne.

În cazul corpurilor mari, discontinuitatea trece neobservată din cauza valorii mici a lui h. Altfel stau însă lucrurile cu atomii și moleculele, care au un moment cinetic mic. Acest fenomen uimitor, care a fost denumit „cuantificarea spațială" a fost descoperit experimental încă înainte de apariția mecanicii cuantice. În 1922, Otto Stern și Walther Gerlach au trecut un fascicul de atomi printr-un cîmp magnetic neomogen. Atomul reprezintă un mic magnet, avînd momentul magnetic proporțional cu momentul cinetic. De aceea, atomii cu proiecții diferite ale momentului după direcția cîmpului magnetic, erau deflectați în mod diferit. Să admitem că momentul cinetic al atomului este egal cu unu. Atunci sînt posibile trei proiecții: 1, 0, —1, și, după deflecție, fasciculul se desparte în trei fascicule, corespunzătoare celor trei valori ale proiecției momentului cinetic. Așa s-a și întîmplat în experiența lui Stern și Gerlach.

Vom obține cuantificarea spațială din raționamente simple.

La suprafața Pămîntului, o piatră poate efectua trei mișcări independente: două mișcări libere după cele două direcții orizontale și o mișcare accelerată după direcția verticală. Un satelit care ocolește Pămîntul efectuează de asemenea trei mișcări independente: după meridian, după paralelă și după direcția radială spre centrul Pămîntului.

La fel stau lucrurile cu o particulă aflată într-un cîmp independent față de unghiuri, și dependent numai de distanța pînă la centru (cum ar fi cîmpul coulombian al nucleului). Și aici au loc trei mișcări independente: după meridian, după paralelă și după rază. Toate trei mișcările pot fi cuantificate în mod independent.

Să examinăm mișcarea după paralelă. Orientăm axa z de la Polul Sud la Polul Nord. Aflăm lungimea de undă corespunzătoare particulei. Fie ρ distanța pînă la axa de rotație. Atunci,

$$\lambda = \frac{2\pi h}{mv} = \frac{2\pi h\rho}{M_z}.$$

Aici, M_z este momentul cinetic referitor la axa z sau, cu alte cuvinte, proiecția momentului cinetic total pe axa z. Pe lungimea $2\pi\rho$ trebuie să se așeze un număr întreg de unde, altfel nu s-ar obține o undă staționară. Efectuînd o rotație completă și revenind în același punct pe paralelă trebuie să avem aceeași valoare a funcției de undă ca și

înainte de rotație. Astfel, $2\pi\rho = n\lambda$ unde n este un număr întreg. Din expresia lui λ obținem:

$$M_z = nh$$

Proiecția momentului cinetic este un număr întreg înmulțit cu h. Valoarea maximă posibilă a proiecției se obține atunci cînd rotația completă are loc după axa z. Atunci, $M_z = M = n_m$ h. Am obținut deci că și momentul cinetic total al sistemului cuantic este un număr întreg, înmulțit cu h.

Vom măsura momentul cinetic și proiecția lui în unități h. Observăm că proiecția momentului poate lua toate valorile întregi posibile de la — M/h la M/h. Pentru momentul cinetic M/h = 1, $M_z/h = 1,0, -1$.

Există particule care, datorită mișcării interne au un spin semiîntreg (momentul cinetic împărțit la h); exemple sînt electronul și protonul al căror spin este 1/2. Nu-i de mirare că, pentru descrierea mișcării interne, schema noastră simplă nu este adecvată. Dar rezultatul se va schimba destul de puțin dacă la momentul cinetic total contribuie particule cu spinul 1/2, ca în atomul de hidrogen, care are un singur electron, cu spinul necompensat de alți electroni. Momentul cinetic total al electronului și proiecția lui nu au valori întregi, ci semiîntregi. Astfel, în starea fundamentală, spinul electronului din atomul de hidrogen este egal cu 1/2, iar proiecțiile sale sînt 1/2 și — 1/2.

Oscilatorul cuantic

Pentru aplicarea mecanicii cuantice nu este esențial cum anume se realizează oscilatorul, fie că reprezintă o greutate oscilînd pe un resort, fie un circuit oscilant.

Să notăm prin q coordonata „generalizată" a oscilatorului, care poate fi mărimea abaterii greutății de la poziția de echilibru, ori în cazul circuitului oscilant, sarcina de pe armăturile unui condensator. Să scriem energia oscilatorului sub forma sumei dintre energia cinetică și cea potențială:

$$E = \frac{\beta q'^2}{2} + \frac{\gamma q^2}{2}$$

Mărimea β este „masa" iar mărimea γ este „constanta elastică" a oscilatorului. Putem considera oscilatorul ca pe o „particulă" oarecare, cu masa β, care oscilează pe un resort de constantă elastică γ. Să introducem lungimea de undă λ

a procesului ondulatoriu legat de „particula" noastră, $\lambda = 2\pi h/\beta q'$. La numitor, ca și în cazul electronului, se află produsul dintre „masa" și „viteza particulei". Întrucît „particula" se mișcă în zona de la — q la q, condiția ca să ia naștere o undă staționară implică așezarea unui număr întreg de semiunde pe lungimea 2q:
$2q/(\lambda/2) = n + 1$; $n = 0, 1, 2, 3...$

Vom găsi mai întîi viteza

$$q'_n = \frac{2\pi h}{\beta\lambda} = \frac{\pi h(n+1)}{2\beta q}$$

Valoarea cea mai mică a lui n este egală cu zero, caz în care pe lungimea 2q se așază o jumătate de lungime de undă: ventrul la mijloc, iar nodurile la capete. În această situație, nedeterminarea impulsului $\Delta p \sim p \sim \beta q' \sim h/q$ în concordanță cu relația de incertitudine.

Înlocuind expresia vitezei în energia cinetică, avem:

$$T_n = \frac{(\pi h)^2}{8\beta} \cdot \frac{(n+1)^2}{q^2}$$

Pentru energia totală obținem:

$$E_n(q) = \frac{(\pi h)^2}{8\beta} \cdot \frac{(n+1)^2}{q^2} + \frac{\gamma q^2}{2}$$

Valoarea lui q pentru care oscilatorul are cea mai mică energie, se obține dacă se egalează energia cinetică și cea potențială:

$$q^2 = \frac{\pi h(n+1)}{2\sqrt{\beta\gamma}}$$

Introducînd-o în expresia energiei, obținem:

$$E_n = \frac{\pi h}{2}\sqrt{\gamma/\beta}\,(n+1) = \frac{\pi}{2}\,h\omega(n+1);\ n = 0,1,2...$$

Într-adevăr, mărimea $\sqrt{\gamma/\beta} = \omega$ reprezintă frecvența oscilatorului clasic. Calculul exact dă următoarea expresie a energiei:

$$E_n = h\omega\left(n + \frac{1}{2}\right),\ n = 0,\ 1,\ 2...$$

Astfel, ne-am înșelat numai în privința factorului numeric ($\pi/2$ în loc de 1) al lui n și, de asemenea, în ceea ce privește valoarea numerică a energiei stării celei mai joase, cînd $n = 0$ ($\pi\hbar\omega/2$, în loc de $\hbar\omega/2$). Toate celelalte valori sînt corecte! Acum, cînd rezultatul a fost obținut, este necesar să reflectăm asupra metodelor folosite la dobîndirea lui și asupra consecințelor care decurg din expresiile calculate pentru energia oscilatorului și pentru mărimea q^2.

Înainte de toate, fără să ne interesăm de structura lui, am folosit în cazul oscilatorului nostru principiile mecanicii cuantice stabilite inițial pentru electroni. Desigur, este firesc să ne așteptăm ca principiile generale să fie aceleași și pentru alte particule, cu masa diferită de masa electronului. O astfel de generalizare a fost confirmată cu mare precizie de experiment. Dar din ce cauză aceste principii sînt aplicabile și la circuitul oscilant, unde rolul „coordonatei" îl joacă sarcina de pe armăturile condensatorului? În acest caz am folosit o supoziție deseori utilizată în fizica teoretică a secolului al XX-lea. Dacă energia a două sisteme depinde în egală măsură de coordonate și de viteze, atunci toate proprietățile acestor sisteme sînt absolut identice, oricare ar fi semnificația „coordonatei" și vitezei.

N-a existat nici un exemplu în care această presupunere să fi contrazis experimentul. Din acest motiv, avem dreptul să considerăm rezolvată problema aplicării mecanicii cuantice dintr-o dată pentru toți oscilatorii posibili.

Ce semnificație au rezultatele obținute? Cum trec ele în formulele mecanicii clasice? În primul rînd, am stabilit că energia nu se modifică în mod continuu, ci în porții de mărime $\hbar\omega$. Este adevărat că valoarea lui h este foarte mică (în sistemul CGS $h = 10^{-27}$ erg. s)[26] și pentru oscilatorii macroscopici obișnuiți comportarea în salturi a variației energiei este practic neobservabilă. Corectitudinea expresiei energiei oscilatorului a fost verificată cu o mare precizie pentru multe tipuri de oscilatori.

Dar noi am mai stabilit încă o proprietate importantă a oscilatorului cuantic. În starea cu energie minimă, oscilatorul clasic se află în repaus, în starea de echilibru, în timp ce tot în stare de minim energetic, la $n = 0$, efectuează oscilații („vibrații de zero"). Energia cinetică și potențială a acestor oscilații de zero are aproximativ valoarea $\frac{1}{2}\hbar\omega$. Valoarea

[26] Vezi nota de la p. 145. *Nota trad.*

medie a coordonatei oscilatorului este egală cu zero, iar valoarea medie a pătratului coordonatei se află cu ajutorul formulei scrise mai sus. Aceste proprietăți remarcabile ale oscilatorilor cuantici sînt bine verificate experimental și sînt deosebit de importante pentru fizica contemporană.

Dacă oscilațiile sonore ale corpului solid se interpretează ca fiind produse de niște oscilatori cuantici, ajungem la concluzia că la temperatura de zero absolut atomii nu sînt ficși, ci efectuează oscilații de zero, fapt confirmat de experimentele de difuzie a luminii la temperaturi joase! Dacă vom considera acum undele electromagnetice ca pe niște oscilatori în spațiul vid, ajungem la concluzia că în vid, chiar cînd nu există nici particule, nici cuante, trebuie să se producă „oscilații de zero" ale cîmpului electromagnetic. Aceste oscilații au fost de asemenea descoperite experimental! Dar problema impune o discuție mai amănunțită.

Cuantificarea cîmpului

Ce este cuanta? Sîntem acum destul de pregătiți ca să răspundem la această întrebare. Am introdus fără explicații cîțiva termeni cum ar fi: cuantificarea, proces ondulatoriu legat de particulă, oscilator cuantic!... Am început să operăm cu ele, fără să le înțelegem prea bine și, cu toate acestea, știm acum în ce mod depinde energia nivelelor atomului de hidrogen de numărul cuantic n, am aflat că oscilatorul cuantic oscilează în starea lui energetică cea mai joasă, ba chiar am început să aplicăm rezultatele cuantificării oscilatorului la astfel de obiecte cum ar fi oscilațiile cîmpului electromagnetic în vid. Pe urmă, am observat dintr-o dată că începem să înțelegem. Iată un exemplu de înțelegere în procesul muncii. Dacă am fi încercat să înțelegem deplin înainte de a face calculele simple de mai sus, n-am fi reușit.

Dar ce este cuanta? Fie două ecrane metalice, așezate paralel unul față de celălalt. Între ele se poate excita o undă electromagnetică staționară. Cum se procedează? Știți că antena unui emițător radio transmite unde electromagnetice, care, ajungînd în antena receptorului, se transformă în cele din urmă într-un sunet emis de megafon sau într-o imagine de pe ecranul televizorului. Să presupunem că o astfel de undă ajunge în spațiul dintre ecranele metalice și se deplasează perpendicular pe acestea. Dacă între ecrane încape un număr întreg de semiunde, acolo ia naștere o undă sta-

ționară, ca într-o coardă elastică. Într-adevăr, dacă ciupiți o coardă fixată la capete, pe aceasta se vor genera la început unde progresive dar, după reflectarea lor de capetele corzii, se stabilesc una sau mai multe unde staționare avînd diverse lungimi.

Să admitem că am excitat tonul fundamental al undei electromagnetice dintre ecrane. Atunci, în punctul aflat la mijlocul distanței dintre ecrane, amplitudinile intensităților cîmpurilor electric și magnetic vor fi maxime, iar cîmpurile din acest punct vor oscila periodic. Dar, dacă o mărime oarecare oscilează, atunci avem de-a face cu un oscilator și tot ceea ce trebuie făcut este găsirea unei coordonate generalizate corespunzătoare. Pentru oscilatorul nostru, putem considera drept coordonată intensitatea cîmpului electric în mijloc, rolul vitezei fiind jucat în acest caz de cîmpul magnetic, a cărui mărime este proporțională cu viteza de schimbare a cîmpului electric. Amintiți-vă exemplul circuitului oscilant, unde energia potențială a oscilatorului era proporțională cu pătratul sarcinii condensatorului, sau cu pătratul cîmpului electric, iar energia cinetică era proporțională cu pătratul cîmpului magnetic din bobină.

Este clar că acestui oscilator i se pot aplica aceleași principii de cuantificare ca oricărui alt oscilator. Dacă lucrurile stau astfel, atunci energia undei noastre staționare se poate modifica numai în porții de $h\omega$.

Dacă distanța dintre cele două ecrane este l, atunci, pentru tonul fundamental, avem relația:

$$l = \frac{\lambda}{2} = \frac{\pi c}{\omega}$$

Lungimea de undă este legată de perioada T prin relația $\lambda = cT$, iar perioada este legată de frecvența ω prin formula $T = \frac{2\pi}{\omega}$.

Dacă unda se găsește în starea cu $n = 0$ (starea cea mai joasă), se spune că între ecrane nu există cuante. Dacă însă unda trece în starea cu $n = 1$, se spune că a apărut o cuantă cu lungimea de undă $\lambda = 2l$.

Un rezultat analog se poate obține pentru orice armonică superioară, cînd pe distanța l se așază m semiunde. Dacă n_m este numărul stării excitate al undei a m-a, se spune că există n_m cuante cu lungimea de undă $\lambda_m = \frac{2l}{m}$.

În acest fel, numărul armonicei superioare, care determină lungimea undei dă tipul cuantei (cuantă cu o lungime de undă dată), iar numărul excitației n_m dă numărul de cuante de tipul respectiv. De obicei, cuantele sînt caracterizate nu prin lungimea lor de undă, ci printr-o mărime care se numește „vectorul de undă", legată de lungimea de undă prin relația simplă: $k = 2\pi/\lambda$. Mai avem și relația $\omega = ck$.

Să considerăm acum o undă progresivă. În acest caz au loc de asemenea oscilații periodice, iar energia acestora, pentru fiecare vector de undă k, are aspectul corespunzător oscilatorului. Energia undei se determină tot cu formula $E_n = (n + 1/2)\ h\omega$ și se modifică tot în porții $h\omega$, dar, spre deosebire de unda staționară, unda progresivă are impuls, care poate fi pus în evidență cu ajutorul radiometrului. Cînd palele acestuia o absorb, unda le transmite impulsul și le obligă să se rotească. De aceea, atunci cînd numărul caracterizînd excitația undei progresive vectorul de undă K crește cu o unitate, aceasta înseamnă apariția unei cuante cu energia $\varepsilon = h\omega$ și cu impulsul $p = h\omega/c$. Ultima relație reprezintă legătura cunoscută dintre impuls și lungimea de undă, stabilită de către de Broglie.

Prin urmare, pentru undele progresive cuantele de lumină pot fi considerate particule de Broglie, de care este legat procesul ondulatoriu, în timp ce în cazul undei staționare, cuanta are impulsul mediu egal cu zero.

N-am reușit, desigur, să înțelegem pe deplin. Totuși, putem da de pe acum un răspuns clar la întrebarea ce este o cuantă de lumină. Este porția de energie a undei electromagnetice cu un vector de undă dat.

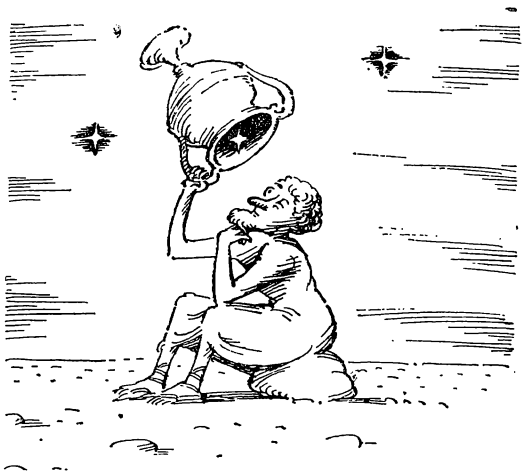
Această undă este un oscilator cuantic.

Mai mult, ne-am lămurit acum ce sînt oscilațiile de zero ale cîmpului electromagnetic; ele sînt vibrațiile de zero ale oscilatorilor cuantici care corespund undelor electromagnetice avînd toți vectorii de undă posibili, fiecărui vector de undă corespunzîndu-i oscilatorul său.

Aplicarea mecanicii cuantice la alte cîmpuri dă rezultate analoage. Există oscilații de zero, adică fluctuații ale tuturor cîmpurilor posibile în starea fundamentală (starea cu energia cea mai joasă), oscilații constînd din apariția și dispariția perechilor electron-pozitron, nucleon-antinucleon, sau a altor perechi (pioni sau alți mezoni). Ca și fotonul, aceste particule apar ca stări excitate ale cîmpurilor respective. În afară de aceasta, există cîmpuri care nu pot fi considerate compuse

din particule, cum ar fi cîmpurile electrice sau magnetice statice. Noţiunea de cîmp este mai largă decît noţiunea de particulă.

Pentru a înţelege mai bine trebuie ca tu însuţi să rezolvi probleme ale fizicii. Studiul pasiv oferă numai o reprezentare palidă a frumuseţilor care se descoperă numai prin muncă independentă.



VIDUL, NUCLEELE, STELELE

Aceste trei obiecte ale cercetării de fizică, atît de departe unul de celălalt, sînt în realitate foarte strîns legate între ele.

Studiul proprietăților vidului — ale spațiului fără particule — ca mediu fizic, permite predicțiunea instabilității sale în cîmpuri intense. Din cauza instabilității, are loc reconstrucția vidului; la rîndul ei, aceasta duce la instabilitatea materiei nucleare în cazul unei densități mari. Se pot forma în acest caz nuclee anomale, cu proprietăți diferite de cele ale nucleelor atomice obișnuite. Acest fenomen provoacă explozia stelelor care au o densitate nucleară. Materia stelei este astfel împrăștiată și poate feri steaua de transformarea ei într-o „gaură neagră".

Astfel, toate domeniile fizicii se împletesc într-un singur mănunchi, constituind întruchiparea principiului unității naturii, amintit în capitolul „Despre frumusețea științei".

Cum este alcătuit vidul?

Acolo-s focuri noi și culori nemaivăzute,
Mii de vedenii ușoare ca visul,
Care cer întruchipare.

G. Apollinaire

Cu ce este umplut spațiul dintre corpuri? Ce rămîne într-un clopot de sticlă conținînd la început aer dacă o pompă ideală scoate de acolo toate particulele? Spațiul, adică vidul, în care se mișcă moleculele, atomii, protonii, neutronii, electronii, cuantele, nu este cumva o noțiune abstractă? Nicidecum. Spațiul nostru fizic, sau vidul, nu este pur și simplu un obiect geometric, nu este o cutie pentru corpurile fizice, ci un sistem fizic complicat, cu proprietăți din cele mai interesante, total diferite de proprietățile corpurilor solide, lichide sau gazoase.

Bogăția aspectelor acestui obiect fizic s-a dezvăluit o dată cu dezvoltarea pe care a cunoscut-o fizica în ultimele decenii. Studiul vidului se întrepătrunde cu cele mai profunde noțiuni ale cunoașterii științifice, cum ar fi cauzalitatea, legătura geometriei cu materia, proprietățile de simetrie ale cîmpurilor și particulelor, legătura dintre simetrie și legile de conservare. Dar să începem cu începutul.

Se poate împinge un corp fără a-l atinge?

Ne-am obișnuit cu ideea că două corpuri acționează unul asupra celuilalt prin contact. De la piatra aruncată în apă, pornește o undă care face să oscileze crenguțele plutind la suprafață. În undă, acțiunea se propagă din aproape în aproape. Sunetul se propagă prin transmiterea presiunii de la un volum la altul al mediului; în vid nu există sunete. Pentru a lovi o țintă, trebuie să tragi cu arcul, sau să arunci

o piatră. Dar cum se poate explica faptul că magnetul atrage de la distanță pilitura de fier, sau că un pieptene electrizat atrage bucățele de hîrtie? De ce piatra este atrasă de Pămînt, deși între cele două corpuri nu există nici un resort întins?

Iată explicația firească: în spațiul din apropierea corpurilor încărcate, din preajma unui magnet, sau de la suprafața Pămîntului, starea vidului se modifică. Starea modificată se numește cîmp, acesta din urmă acționînd asupra corpului încărcat, asupra magnetului, sau pietrei, obligîndu-le să se miște. În toate cele trei cazuri, cîmpurile sînt diferite: electric, magnetic, gravitațional, dar de fiecare dată forța se transmite prin spațiul gol de la un punct la altul, ca printr-un fluid nevăzut. Acest mecanism de transmitere se numește acțiune din aproape în aproape.

Fizica zilelor noastre se întemeiază pe acțiunea din aproape în aproape; toate acțiunile se transmit de la un punct la altul cu ajutorul cîmpurilor. Dar fizicienii n-au ajuns dintr-o dată la această imagine firească.

A existat și un alt punct de vedere — acțiunea la distanță — conform căruia în spațiu nu se întîmplă nimic; există însă o forță care se transmite instantaneu la distanță de la un corp la altul.

Ideea acțiunii la distanță a căpătat o răspîndire deosebit de largă pe timpul lui Newton, cînd acesta a elaborat teoria atracției universale. Presupunerea că acțiunea se transmite instantaneu de la un corp la altul nu l-a împiedicat pe Newton să obțină legile mișcării corpurilor cerești, care coincideau cu o imensă precizie cu observațiile. Acum știm de ce: corpurile cerești se deplasează cu viteze mici, iar interacțiunea gravitațională străbate distanța dintre ele cu viteza luminii și pare deci instantanee.

Apăruseră însă dificultăți serioase în legătură cu proprietățile luminii: se știa că lumina se propagă cu viteză finită. În afară de aceasta, lumina trece prin toate punctele aflate pe linia razei de lumină. Faptul poate fi observat dosebit de bine în ceață, cînd fasciculul de lumină se vizualizează. Newton a ieșit din această dificultate propunînd „teoria corpusculară a luminii". Sursa luminoasă este un corp care emite particule — corpusculi — ce transmit lumina. În această interpretare, propagarea luminii nu contrazice ideea acțiunii la distanță.

Dar concepția despre particulele care transmit lumina s-a dovedit a fi nu chiar fără cusur, întrucît ea este greu de

împăcat cu proprietățile ondulatorii ale luminii, cum ar fi interferența (amintiți-vă de petele de curcubeu de pe apă, rezultate din interacțiunea luminii reflectată de apă și de-o peliculă de grăsime) și cu difracția pe lîngă un obstacol (lumina se curbează cu atît mai mult, cu cît lungimea ei de undă este mai mare). Newton a încercat, dar n-a reușit să unifice în mod convingător descrierea corpusculară cu cea ondulatorie a luminii.

Astăzi știm că în vid toate interacțiunile: electrică, magnetică, gravitațională, nucleară, se transmit de la un punct la altul cu o viteză care nu depășește viteza luminii. Dacă am deplasat un corp într-un interval de timp foarte scurt, forța de greutate care acționează asupra altui corp, trebuie să se modifice. Dar dacă acest al doilea corp se află departe de primul, atunci va trece mult timp pînă cînd va primi un impuls. Unde se află perturbația, în intervalul de timp, în care primul corp a încetat să se mai miște, iar cel de-al doilea nu are încă nici o dovadă cu privire la noua poziție a celui dintîi? Teoria acțiunii la distanță nu putea răspunde în mod acceptabil la această întrebare.

De aceea, mulți fizicieni au respins ideea acțiunii la distanță. Pentru explicarea transmiterii acțiunii la distanță s-a imaginat un mediu special — eterul — care ar umple tot spațiul dintre corpuri. Acțiunea se transmite prin deformarea eterului în jurul corpurilor încărcate sau magnetizate, aceasta fiind și explicația forței care acționează asupra altor corpuri încărcate sau magnetizate. Lumina s-ar propaga în eter ca sunetul în corpul solid. Deformația eterului se transmite de la un punct la altul.

Evoluția fizicii a confirmat corectitudinea acestei explicații. Numai că imaginea despre structura eterului a trebuit să fie totuși modificată. Pînă la începutul secolului al XX-lea, fizicienii au încercat să construiască eterul după chipul și asemănarea corpurilor solide și fluide cunoscute, cînd, de fapt, acesta este un mediu, iar proprietățile lui trebuie studiate nu prin analogie cu exemplele cunoscute, ci în mod independent.

Proprietățile electromagnetice ale vidului

Cu ajutorul uimitoarelor sale ecuații, obținute în 1878, James Maxwell a unificat optica, electricitatea și magnetismul, care pînă atunci constituiseră domenii diferite ale fi-

zicii. Maxwell a avut predecesori importanți, dintre care se detașează Michael Faraday, descoperitorul legii inducției electromagnetice (1830).

Dacă se variază cîmpul magnetic, atunci, într-o spiră de sîrmă care înconjoară fluxul magnetic, apare un curent electric. Toată lumea știe că pe acest fenomen se bazează dinamurile: mișcarea magneților induce curent. Cît de abstract părea fenomenul pe atunci! Și cît de repede, întemeindu-se pe acesta, s-au construit centralele electrice din zilele noastre care alimentează cu lumină și energie marile orașe!

Apariția curentului ca urmare a variației cîmpului electric demonstrează că în jurul fluxului magnetic apare un cîmp electric inelar care îl înfășoară.

Încă din 1830, Hans Oersted a descoperit că, trecînd printr-un conductor, curentul electric generează în jurul său un cîmp magnetic inelar. Ce se va întîmpla dacă modificăm periodic potențialul cîmpului electric care dă naștere curentului din conductor? Se va obține un curent variabil și un cîmp magnetic variabil.

Maxwell a intuit în mod genial că generarea cîmpului magnetic poate avea loc nu numai prin mișcarea sarcinilor electrice, ci și prin variația cîmpului electric însuși, analog modului în care cîmpul magnetic variabil generează cîmp electric. Dacă în vreo regiune a spațiului vid modificăm cîmpul electric, în jurul acestei regiuni ia naștere cîmp magnetic variabil.

Așadar, vidul are două noi proprietăți remarcabile: cîmpul magnetic variabil produce un cîmp electric variabil, iar cîmpul electric variabil produce un cîmp magnetic variabil. Dar din aceste două proprietăți decurge a treia, nu mai puțin importantă, și anume, propagarea undelor electromagnetice în vid. Într-adevăr, cîmpul electric variabil care ia naștere în apropierea antenei unui radioemițător, formează în jurul său un cîmp magnetic care variază cu aceeași frecvență, iar acesta, conform legii lui Faraday, generează în vecinătatea sa un cîmp electric variabil. Astfel, această perturbație a vidului se propagă în toate direcțiile.

La sfîrșitul anilor '80 ai secolului al XIX-lea, la un deceniu după apariția ecuațiilor lui Maxwell, Heinrich Hertz a demonstrat experimental propagarea undelor electromagnetice. Aproape toate bunurile civilizației se bazează pe aceste descoperiri: centralele electrice, radioul, televiziunea, metroul, troleibuzul, liftul, telefonul, picupul, mașina electrică de bărbierit — toate lucrurile mari și mici care ne înconjoară.

După Maxwell, oscilațiile electromagnetice trebuie să se propage cu viteza luminii. Era firesc să se ajungă la concluzia că și lumina este o undă electromagnetică. Ea se deosebește de undele radio numai prin lungimea undei λ. Pentru lumina vizibilă, $\lambda \sim 5\ 000\text{Å} = 5 \times 10^{-5}$ centimetri, adică mult mai mică decît lungimea undelor radio.

Teoria lui Maxwell a constituit triumful acțiunii din aproape în aproape: toate acțiunile electromagnetice se transmit printr-un mediu numit eter. Dar tocmai după apariția teoriei lui Maxwell au început să se evidențieze contradicțiile noțiunii de eter. S-a pus însă întrebarea: mișcarea corpurilor antrenează eterul? Unele experimente au demonstrat o antrenare parțială sau totală a eterului, altele au arătat că eterul nu este deloc antrenat. Celebrul experiment al lui Michelson, efectuat în 1887, a demonstrat cu o precizie colosală că viteza luminii este aceeași, indiferent dacă viteza ei este măsurată în același sens cu mișcarea Pămîntului sau în sens contrar acestei mișcări. Mișcarea sursei nu influențează viteza de propagare a luminii; dacă lumina se propagă în eter, de aici rezultă că eterul este în întregime antrenat de Pămînt. Totuși, măsurarea vitezei luminii în apa curgătoare, (experiența lui Fizeau din 1853) putea fi explicată numai printr-o antrenare parțială a eterului de către mișcarea mediului.

Eterul a murit, trăiască eterul!

La începutul secolului al XX-lea, ideea acțiunii din aproape în aproape a fost dezvoltată în continuare în cadrul teoriei relativității și gravitației a lui Einstein. S-a arătat că nu numai forțele electromagnetice, ci și cele gravitaționale se propagă în vid cu viteza luminii. Viteza luminii a început să pătrundă în mecanică și în teoria gravitației, la fel cum pătrunsese în electrodinamică.

Contradicția dintre experiența lui Fizeau și cea a lui Michelson a fost înlăturată prin noua formulă de compunere a vitezelor, ce decurgea din teoria relativității. Rezultatele experienței lui Fizeau s-au explicat fără nici un fel de presupuneri privitoare la proprietățile eterului: în această experiență, viteza de curgere a apei se aduna cu viteza luminii nu aritmetic, ci după o formulă mai complicată. A dispărut însăși necesitatea introducerii noțiunii de eter, dar a apărut

un obiect nou, vidul, care nu mai conține nici un fel de contradicții. Eterul a murit.

La începutul secolului, se părea că proprietățile vidului erau epuizate de forțele gravitaționale și electromagnetice. Dar studiul nucleelor atomice a demonstrat că, în afară de forțele gravitaționale și electromagnetice, mai există și alte forțe care mențin neutronii și protonii legați în nucleu, și anume, forțele nucleare. Din punctul de vedere al acțiunii din aproape în aproape, acestea trebuie privite și ele ca o stare excitată a vidului. Așadar, vidul mai are încă o proprietate.

Dar bogăția vidului a început să se reveleze cu adevărat după aplicarea mecanicii cuantice la cîmpul electromagnetic și la alte cîmpuri, caracterizate prin perechile de particule electron-pozitron, proton-antiproton ș.a. După construirea acceleratorilor de particule încărcate, s-a aflat că la ciocnirile dintre nucleonii din vid se pot genera jerbe de diferite particule. Vidul mișună de particule, care trebuie doar scoase de acolo! A devenit clar că vidul reprezintă în sine un mediu uimitor de complicat și de interesant. L-am putea denumi din nou eter, dacă n-ar persista teama confuziei cu noțiunea naivă și contradictorie de eter din secolul trecut.

Mecanica cuantică a cîmpurilor din vid

La sfîrșitul anilor '20, s-au petrecut două evenimente: Paul Dirac a elaborat renumita sa ecuație și a aplicat apoi legile mecanicii cuantice la cîmpul electromagnetic.

Ecuația lui Dirac reprezintă generalizarea mecanicii cuantice la particulele cu viteze comparabile cu viteza luminii. Din această ecuație se obține în mod automat momentul magnetic corect al electronului, și decurg corecțiile la mișcarea electronului în atomii grei. Dar realizarea cea mai importantă a fost demonstrarea existenței dublurii electronului, a antiparticulei numită pozitron, care se deosebește de electron numai prin semnul sarcinii. În 1932, această predicțiune a fost confirmată, pozitronul fiind pus în evidență de Carl Anderson, care a primit pentru această descoperire premiul Nobel.

Ecuația lui Dirac prevede existența antiparticulelor nu numai pentru electron, ci și pentru orice particulă cu spinul 1/2. Există deci antineutronul și antiprotonul. Există și antiparticulele particulelor cu spin întreg, ca, de exemplu,

particulele cu spin zero, descrise de ecuația Klein-Gordon-Fock. Cum sînt legate toate acestea de proprietățile vidului? Am vorbit despre vid la sfîrșitul capitolului precedent. Să enumerăm pe scurt rezultatele obținute acolo.

Aplicarea mecanicii cuantice la cîmpul electromagnetic a dus la consecințe uimitoare. Cîmpul electromagnetic închis într-o cutie cu pereți reflectători se comportă ca o mulțime de oscilații electromagnetice avînd diferite lungimi de undă. Se mențin numai oscilațiile care se așază cu un număr întreg de semilungimi de undă pe lungimea cutiei. Fiecare vibrație poate fi considerată ca un oscilator, în care rolul energiei cinetice este jucat de energia cîmpului magnetic, iar cel al energiei potențiale, de energia electrică. Să ne reamintim rezultatele cuantificării oscilatorului obișnuit. În starea fundamentală, cînd energia oscilatorului este minimă, energiile cinetică și potențială nu sînt separat egale cu zero (cum ar fi fost în cazul oscilatorului clasic). Coordonata și viteza oscilatorului nu au valori determinate. Funcția de undă permite găsirea probabilității uneia sau alteia dintre valorile coordonatei sau vitezei. În mod analog, se poate indica probabilitatea uneia sau alteia dintre valorile cîmpului electric sau magnetic pentru fiecare dintre oscilatorii cîmpului electromagnetic. Cîmpurile electric și magnetic efectuează „oscilații de zero". Valorile pătratice medii ale cîmpurilor electric și magnetic sînt diferite de zero, chiar și atunci cînd în spațiu nu există nici o particulă încărcată și nici o cuantă de cîmp electromagnetic. Existența oscilațiilor de zero s-a confirmat prin multe experimente. Astfel, aceste oscilații fac electronul să vibreze în timpul mișcării sale în atomi. Ca rezultat, electronul se comportă ca și cînd s-ar fi transformat într-o sferă cu raza egală cu amplitudinea vibrației, motiv pentru care interacționează mai slab cu nucleul, decît un electron punctual. Energiile liniilor spectrale emise de electron se deplasează. Valoarea teoretică a deplasării a coincis exact cu cea obținută experimental.

Cîmpurile care descriu particulele cu spinul 1/2 (numite cîmpuri fermionice) se cuantifică altfel, dar rezultatul este foarte asemănător. Și aceste cîmpuri au oscilații de zero în vid; acolo apar și dispar perechi electron-pozitron, nucleon-antinucleon și în general perechi de particule cu orice spin. Vidul este umplut de astfel de particule nenăscute, generate și anihilate; ele se numesc „virtuale".

Este suficient să excităm vidul, de exemplu, ciocnind doi nucleoni, ori un electron cu un pozitron, ca perechile virtuale din vid să se transforme în particule reale. Prin ciocniri se nasc noi particule.

Jerbe de particule

La energii suficient de mari, din vid apar jerbe de diferite particule și antiparticule. Să urmărim mai amănunțit acest fenomen.

Să admitem că protonii cad pe substanță și sînt deviați de nucleonii din nuclee. Experimentul măsoară numărul de particule deviate sub un unghi sau altul. Pentru a calcula numărul particulelor deviate, este suficient să se știe ce suprafață „umbrește" fiecare nucleon. Această suprafață se numește „secțiune transversală". Cunoscînd numărul nucleonilor din unitatea de volum de substanță și secțiunea lor transversală, este ușor de calculat și suprafața totală „umbrită" și numărul particulelor împrăștiate. Și invers, dintr-un asemenea experiment se poate afla cum se împrăștie un proton pe un nucleon. Secțiunea transversală de împrăștiere a nucleonului pe nucleon este determinată de raza regiunii în care particulele mai sînt încă în interacțiune. (Să ne amintim că forțele nucleare scad repede cu distanța). Mecanica cuantică aduce uneori corective importante acestui tablou clar. Particulele lente au o lungime de undă mare, întrucît lungimea de undă este invers proporțională cu impulsul particulei. Acest fapt a fost menționat în capitolul „Cum lucrează fizicienii". Din această cauză, secțiunea de absorbție a neutronilor foarte lenți este de sute și mii de ori mai mare decît dimensiunile geometrice ale nucleului care îi absoarbe. Totuși, în cazul de față, absorbția nu trebuie să ne neliniștească, întrucît vom examina particule cu o energie imensă. Lungimea lor de undă este considerabil mai mică decît dimensiunile interacțiunii efective.

Să observăm ciocnirea a doi protoni care se îndreaptă unul spre celălalt, cu o energie mult mai mare decît energia lor de repaus. Ce se va petrece la ciocnire? După cum arată experimentul, la o astfel de ciocnire iau naștere două jerbe de particule care zboară în direcția fiecăruia dintre protoni. Numărul de particule din jerbe crește o dată cu mărimea energiei protonilor. Asemenea jerbe se pot vedea în număr

mare pe plăcile fotografice cu care se studiază razele cosmice, sau în condiții de laborator, la acceleratorii de mare energie.

Care este secțiunea transversală în acest proces? Întrucît lungimea de undă a particulelor care se ciocnesc este foarte mică, ne putem aștepta, pe bună dreptate, ca secțiunea să fie determinată de dimensiunile regiunii de interacțiune a celor doi protoni. Dar, așa cum arată experimentul, secțiunea este mult mai mare, ea crește pe măsură ce crește energia și poate depăși oricît de mult suprafața dimensiunilor geometrice. Care este cauza acestui fenomen? Totul se explică prin particulele virtuale cu care este umplut vidul.

Calculele teoretice simple arată că o particulă reală de energie mare este însoțită de un nor de particule virtuale. Cu cît este mai mare energia particulei, cu atît mai multe particule se află în nor și cu atît mai mari devin dimensiunile transversale ale acestei aglomerări de particule virtuale. Cu cît este mai mare energia particulei, cu atît mai ușor devin reale particulele însoțitoare. Este suficient ca o margine a norului să lovească o particulă reală și toate particulele virtuale devin reale. Din această cauză, secțiunea crește o dată cu energia.

Licărirea geometriei

Teoria gravitației a lui Einstein prevede încă o proprietate remarcabilă a vidului: cîmpul gravitațional din apropierea corpurilor grele modifică proprietățile geometrice ale spațiului. În apropierea Soarelui, geometria se abate de la geometria euclidiană, pe care o studiem la școală, iar suma unghiurilor unui triunghi reprezintă ceva mai puțin de 180°, raportul dintre lungimea cercului și rază reprezintă mai puțin de 2π, distanța cea mai scurtă între două puncte diferă de segmentul de dreaptă care trece prin ele. Aceste modificări apar în experimente; trecînd pe lîngă Soare, razele stelelor îndepărtate se curbează.

Ce se va obține dacă vom aplica și cîmpului gravitațional mecanica cuantică, așa cum am procedat în cazul cîmpului electromagnetic?

Există oscilații de zero ale cîmpului gravitațional, analoage cîmpului electromagnetic. Dar, în prezența acestui cîmp, așa după cum am afirmat puțin mai înainte, geometria spațiului se schimbă. Cuantificarea gravitației duce la oscilații de zero ale proprietăților geometrice. Raportul dintre

lungimea cercului și rază oscilează în jurul valorii euclidiene; cu cît este mai mică scala, deci cu cît este mai mică raza cercului, cu atît sînt mai mari abaterile. Oscilațiile geometriei sînt neglijabil de mici chiar și pentru cele mai mici dimensiuni. Dar se poate indica o astfel de scală, la care din geometria euclidiană nu mai rămîne nici urmă.

Să evaluăm lungimea de undă a vibrațiilor de zero ale cîmpului gravitațional, cînd geometria devine complet diferită de cea euclidiană. Gradul de abatere ζ al geometriei din cîmpul gravitațional față de geometria euclidiană se determină prin raportul dintre potențialul gravitațional φ și pătratul lui c, viteza luminii $\zeta = \varphi/c^2$. Cînd $\zeta \ll 1$, geometria este apropiată de cea euclidiană, cînd $\zeta \sim 1$, orice asemănare dintre cele două geometrii dispare. Energia de vibrație a regiunii de dimensiune l este egală cu $E = h\omega \sim$ $\sim h\, c/l$, unde c/l este ordinul de mărime al frecvenței oscilațiilor. Potențialul gravitațional creat de masa m la această distanță este $\varphi = G\,\frac{m}{l}$, unde G este constanta gravitației universale. În locul lui m, trebuie introdusă o masă căreia, conform formulei lui Einstein îi corespunde energia E ($m = E/c^2$). Obținem $\varphi = G\frac{E}{lc^2} = \frac{Gh}{l^2c}$. Împărțind această expresie cu c^2, obținem mărimea ζ. Egalînd pe ζ cu 1, găsim acea lungime la care geometria euclidiană dispare complet.

$$P = \frac{\sqrt{Gh/c}}{c}$$

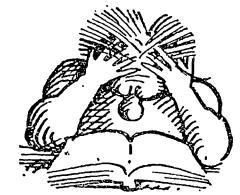
Această mărime se numește „lungimea Planck". Introducînd valorile lui c, G și h (în sistemul CGS, $c = 3\times10^{10}$, $G = 6{,}7\times10^{-8}$, iar $h = 10^{-27}$) obținem $P = 2\times10^{-33}$ cm.

Cu toată valoarea ei mică, această lungime va juca, se pare, un rol important în viitoarea teorie care va unifica gravitația cu toate celelalte interacțiuni electromagnetice, tari și slabe.

Vidul mai are încă o proprietate: în cîmpuri intense, particulele virtuale se transformă în particule reale și vidul se restructurează.

Dar despre toate aceste vom vorbi în secțiunea următoare.

Instabilitatea vidului și stările neobișnuite ale materiei nucleare



Cea mai bună soartă a unei teorii fizice este să servească drept fundament unei teorii mai generale, în cadrul căreia să rămînă ca un caz limită.

A. Einstein

Fenomenele despre care va fi vorba încă n-au fost descoperite experimental. Ele există deocamdată numai pe hîrtie, ca rezultat al calculelor și estimărilor teoretice. Dar aceste estimări sînt destul de verosimile, iar fenomenele sînt atît de importante, încît se depun eforturi mari pentru a confirma sau respinge predicțiunile teoriei.

Conform teoriei, materia nucleară, adică materia formată din neutroni și protoni, se poate găsi în diverse stări — în starea obișnuită, în care se întîlnește în nucleele atomice și într-o stare neobișnuită, mai densă (dar s-ar putea să existe cîteva stări mai dense). Aceasta înseamnă că, alături de nucleele obișnuite, există nuclee anomale cu alte proprietăți (o altă densitate, un alt raport dintre sarcină și masă și cu altă energie de legătură dintre sarcină și masă, precum și cu altă energie de legătură a neutronilor și protonilor).

Așa cum se întîmplă frecvent în fizica teoretică, unde apar în mod neașteptat legături strînse între fenomene la prima vedere foarte îndepărtate, fenomenul descris este legat de restructurarea vidului în cîmpuri intense.

Restructurarea vidului constă în apariția particulelor, sau, mai precis, în apariția unui cîmp de particule de tip determinat, în funcție de caracterul cîmpului extern. O astfel de restructurare este asemănătoare tranziției de fază din materia obișnuită, cum ar fi trecerea metalului în stare supraconductoare. De aceea, înainte de studierea unui obiect atît de complicat cum este vidul, este util să ne amintim ce sînt tranzițiile, de fază obișnuite.

După cum se știe, sub influența condițiilor externe (temperatura, presiunea, cîmpul electric sau cel magnetic care acționează asupra corpului) una și aceeași substanță se poate găsi în diverse stări, în diverse „faze". Trecerile dintr-o fază într-alta se numesc „tranziții de fază". De exemplu, la temperaturi sub zero grade, dar la presiuni suficient de mari, gheața (faza solidă a apei) se topește, ceea ce înseamnă că apa trece din faza solidă în faza lichidă. În afara trecerilor din starea solidă în cea lichidă, sau din starea lichidă în starea gazoasă, există multe alte diferite transformări de fază. De exemplu: trecerea metalelor din starea normală în cea supraconductoare, din starea feromagnetică în starea paramagnetică, transformările din corpurile solide, legate de schimbările simetriei rețelei cristaline, trecerea heliului din starea normală în starea suprafluidă ș.a.m.d. Toate aceste fenomene se descriu cu o singură teorie, ale cărei fundamente au fost puse de L.D. Landau în 1937. De atunci, teoria tranzițiilor de fază s-a îmbogățit cu multe idei noi, devenind unul dintre cele mai interesante domenii ale fizicii teoretice cu un mare număr de aplicații practice.

Ce anume deosebește o fază de cealaltă și ce unește toate aceste fenomene cu origini diferite? S-a dovedit faptul că întotdeauna există o mărime oarecare, numită „parametru de ordine", egală cu zero într-o fază și diferită de zero în alta. În cazul tranziției din starea solidă în cea lichidă, drept parametru de ordine se poate lua raportul dintre numărul de atomi așezați în ordine directă (în rețeaua cristalină) și numărul total de atomi. Sub punctul de topire, acest raport este egal cu unu, peste acest punct, este egal cu zero. În această tranziție, parametrul de ordine se modifică în salt.

În aceste cazuri este vorba de „tranziții de prima speță".

Să examinăm acum trecerea din starea feromagnetică în starea paramagnetică. Starea feromagnetică este starea în care se găsește materia dintr-un magnet. Acolo, momentele magnetice individuale ale atomilor au o orientare preferențială — majoritatea momentelor magnetice sînt orientate în lungul axei magnetului. Pe măsura încălzirii magnetului, mișcarea termică împrăștie momentele magnetice în diferite direcții, iar la o anumită temperatură, momentul magnetic mediu al atomilor în lungul axei magnetului devine egal cu zero, ceea ce înseamnă că substanța a trecut în starea

paramagnetică, în care momentele magnetice ale atomilor sînt orientate dezordonat. La trecerea din starea feromagnetică în cea paramagnetică, rolul parametrului de ordine îl joacă valoarea medie a proiecției momentului magnetic pe axa de magnetizare. În punctul de tranziție, această mărime devine zero și rămîne zero după trecerea în starea paramagnetică.

În felul acesta, parametrul de ordine nu face un salt în punctul tranziției de fază: o atare tranziție se numește „tranziție de speța a II-a".

După cum vom vedea, restructurarea vidului în cîmpuri externe reprezintă și ea o tranziție de fază de speța a II-a. Rolul parametrului de ordine este jucat de mărimea cîmpului condensat care apare după restructurare.

Tranzițiile de fază ale vidului

Cum se modifică vidul în prezența cîmpului extern, adică a unui cîmp creat de particule introduse în vid? O restructurare de proporții reduse are loc chiar și în cîmpuri slabe. Ne va interesa însă acea restructurare a vidului survenită brusc, o dată cu atingerea unei anumite valori critice a cîmpului extern, restructurare care este produsă de posibilitatea generării spontane de particule de un tip determinat.

După cum știm, în vid apar și dispar fără întrerupere toate particulele posibile, vidul fiind plin de astfel de particule virtuale.

Se pune însă întrebarea: ce se va întîmpla cu particulele virtuale, dacă în vid apare un cîmp intens? Nu devin ele particule reale?

Să admitem că într-o regiune oarecare a spațiului a luat naștere un cîmp intens — electric, gravitațional sau nuclear (cîmp creat de nucleoni). Presupunem că forma cîmpului este ca o groapă de potențial. Cel mai simplu exemplu de groapă de potențial este o scobitură la suprafața Pămîntului. Cînd o particulă cade din afară în groapa de potențial, energia ei cinetică se mărește, așa cum crește cea a unei pietre ce se rostogolește de pe un munte.

La marginea superioară a gropii de potențial din vid se generează și dispar fără întrerupere toate felurile de particule. Pentru ca o particulă virtuală să devină reală, conform formulei lui Einstein, particulei trebuie să i se transmită o energie egală cu mc^2, unde m este masa parti-

culei, iar c, viteza luminii. Energia comunicată de cîmp particulei prin căderea ei pe fundul gropii poate duce fie la mărirea energiei cinetice a particulei generate, fie la transformarea unei particule virtuale de la marginea de sus a gropii, într-o particulă reală aflată pe fundul gropii.

Ce se va întîmpla dacă adîncimea gropii energetice depășește valoarea mc^2, adică energia de repaus a particulei? În acest caz, la generarea de particule se va cîștiga energie. Într-adevăr, pentru a crea o particulă în repaus, trebuie cheltuită o energie egală cu mc^2, dar energia cîștigată prin aruncarea particulei în groapă depășește mc^2. Prin urmare, în prezența unui cîmp extern intens, survine o instabilitate: în vid se vor genera și acumula particule pînă în momentul în care acestea vor crea un cîmp suplimentar, care va face ca generarea în continuare a particulelor să fie neconvenabilă energetic. Condițiile critice se vor atinge cu atît mai ușor, cu cît masa particulelor generate este mai mică.

Dintre particulele încărcate, cea mai mică masă o au electronii. Totuși, electronii, ca și toate celelalte particule de spin 1/2 se supun „excluziunii lui Pauli" și nu se pot acumula în număr mare; în fiecare stare poate exista numai un singur electron.

O restructurare mult mai substanțială a vidului trebuie să aibă loc în acele cîmpuri în care este posibilă generarea particulelor cu spin întreg. Principiul excluziunii al lui Pauli, ne mai operînd, particulele se pot acumula în starea de cea mai joasă energie într-un număr arbitrar de mare. Numărul maxim de particule este limitat numai de faptul că particulele se resping reciproc. Dintre particulele de acest fel, cea mai mică masă o au mezonii π. Din acest motiv, cîmpul pionic este cel mai interesant. El este studiat pentru cunoașterea proprietăților sale și pentru clarificarea condițiilor în care apare instabilitatea pionică a vidului (instabilitate în raport cu generarea cîmpului pionic).

O astfel de instabilitate poate apare și într-un cîmp electric suficient de intens. După cum arată calculele, în vecinătatea nucleului cu numărul de protoni Z, instabilitatea pionică survine la valori $Z > 1\,500$.

Chiar dacă neglijăm posibilitatea restructurării vidului, nucleele cu o astfel de sarcină ar fi instabile, din cauza imensei respingeri coulombiene a protonilor. Totuși, calculul energiei cîștigate prin restructurarea vidului arată că acest cîștig poate depăși pierderea de energie cauzată de respin-

gerea coulombiană. Ca urmare, aceste nuclee „supraîncărcate" se pot dovedi stabile și nu este exclus ca ele să fi apărut în procesul evoluției Universului. Dacă este așa, ar trebui încercată găsirea lor în razele cosmice.

Fenomenul cel mai interesant este instabilitatea pionică a vidului, manifestată într-un mediu nuclear (într-un mediu constînd din neutroni și protoni) destul de dens. Întrucît mezonii π interacționează tare cu nucleonii, mediul nuclear, creează o groapă de potențial în care, la o densitate suficientă, survine instabilitatea vidului. După cum vom vedea, instabilitatea cîmpului pionic în mediul nuclear are un mare număr de consecințe fizice importante și este verificabilă experimental. Să examinăm mai amănunțit acest fenomen.

Condensarea pionică

Groapa efectivă de potențial pentru pioni creată de materia nucleară cu densitatea n are adîncimea:

$$U = nA,$$

unde A este amplitudinea de împrăștiere a pionului pe nucleon (pătratul acestei mărimi determină secțiunea de împrăștiere). Mărimea A indică adîncimea gropii create de un nucleon. Instabilitatea vidului față de generarea pionilor apare o dată cu creșterea densității, cînd adîncimea gropii devine mai mare decît energia de repaus a pionului:

$$U = nA \geqslant m_\pi c^2$$

Densitatea critică la care începe restructurarea vidului este:

$$n_c = \frac{m_\pi c^2}{A}$$

În realitate, lucrurile nu se petrec chiar atît de simplu. Mai întîi, la impulsuri mici ale pionilor (să ne amintim că impulsul este masa înmulțită cu viteza), amplitudinea de împrăștiere este unică. Iar instabilitatea apare nu pentru pionii aflați în repaus, ci pentru pionii al căror impuls duce la o amplitudine de împrăștiere maximă. Mărimea aproximativă a acestui impuls este $m_\pi c$. Mai mult, la o densitate mare a nucleonilor, în formula simplă de mai sus apar termeni suplimentari, care, pînă acum, au putut fi calculați numai aproximativ. Din acest motiv, densitatea critică nu este cunos-

cută exact; se poate spune numai că valoarea ei este apropiată de densitatea de echilibru a materiei nucleare (de densitatea nucleelor atomice). Să notăm această densitate cu n_0. În acest fel, $n_c \geqslant n_0$

Aşadar, într-un mediu nuclear avînd densitatea mai mare decît n_c apare un cîmp pionic. Cînd cîmpul devine destul de intens respingerea dintre pioni micşorează groapa şi procesul se opreşte. Cînd densitatea materiei nucleare depăşeşte sensibil valoarea critică, adîncimea gropii devine mai mare decît energia de repaus a pionului şi prin condensare se cîştigă energie. Energia E_π care se eliberează prin condensare este proporţională cu pătratul diferenţei dintre densitatea existentă şi densitatea critică:

$$E_\pi = \alpha\ (n - n_c)^2$$

Acest fenomen se numeşte „condensare pionică", iar cîmpul pionic apărut prin condensare se numeşte „condensat".

Condensarea pionică poate avea ca efect apariţia nucleelor supradense, despre care am amintit în introducere şi poate avea multe alte consecinţe fizice.

Deocamdată, asemenea nuclee n-au fost puse în evidenţă. În laboratoarele de fizică ale multor ţări se caută nucleele supradense. Cercetările teoretice consacrate condensării pionice şi consecinţelor acesteia au fost iniţiate în 1971 prin lucrările autorului acestei cărţi şi continuă şi în prezent în multe centre ştiinţifice.

Instabilitatea materiei nucleare la densitate mare

Cea mai importantă urmare posibilă a condensării pionice este instabilitatea materiei nucleare. Să vedem care este cauza fizică a acestei instabilităţi. Să admitem că densitatea critică a nucleonilor, n_c, corespunzătoare condensării pionice, depăşeşte densitatea de echilibru, n_0, a materiei nucleare. Atîta timp cît nu există condensare, energia materiei nucleare creşte, faţă de valoarea de echilibru, o dată cu mărirea densităţii.

Totuşi, la apariţia condensatului pionic, adică la $n > n_c$, se cîştigă energie. Dacă la mărirea densităţii acest cîştig creşte mai repede decît pierderea de energie prin contracţie, materia nucleară devine instabilă. Cu alte cuvinte, la apariţia condensatului pionic, elasticitatea materiei nucleare scade.

Dacă această mărime ajunge negativă, atunci materia nucleară devine instabilă.

Se poate oare calcula modificarea elasticității materiei nucleare la apariția condensării și stabili în acest fel dacă este posibilă existența unei stări de echilibru cu densitatea mai mare a nucleelor? Din păcate, în calcule intră mărimi insuficient cunoscute în momentul de față, privitoare la interacțiunea nucleonilor și a mezonilor π în materia nucleară. Estimările preliminare pledează în favoarea faptului că, simultan cu apariția condensării, se produce și instabilitatea materiei nucleare. Dacă aceste estimări vor fi confirmate de evoluția teoriei și a experimentului, atunci materia nucleară trebuie să devină instabilă chiar la densități apropiate de densitatea materiei nucleare din nucleele atomice.

Această instabilitate poate însemna că, alături de starea obișnuită a materiei nucleare din nucleele atomice, există încă una (sau mai multe) neobișnuită, stabilă, cu densitate mare. Cu alte cuvinte, este posibilă existența nucleelor anomale.

Dar în nucleele obișnuite nu există oare condensat pionic? Din calcule rezultă valori insuficient de precise ale mărimilor care ne interesează. Între altele, imprecizia calculului densității critice n_c permite ambele valori: densitatea critică, n_c, poate fi la fel de bine mai mare, sau mai mică decît densitatea nucleară de echilibru, n_0. Dacă densitatea critică $n_c < n_0$, atunci condensatul pionic trebuie să existe în nucleele obișnuite.

Prezența condensatului pionic în nucleele obișnuite ar avea un număr mare de consecințe fizice neobișnuite, care s-ar putea determina experimental. Așa după cum o arată calculele, cîmpul condensat din materia nucleară trebuie să se modifice periodic în spațiu. Aceste modificări periodice se transmit nucleonilor și duc la o structură periodică a densității neutronilor și protonilor. Structura periodică a densității protonilor (a densității sarcinii), ar putea să se pună în evidență prin împrăștierea electronilor pe nuclee, sau să influențeze proprietățile rotaționale ale nucleelor. Procesele de împrăștiere care nu au loc în materia nucleară omogenă sînt deosebit de sensibile față de existența structurii periodice. După cît se pare, experimentele de acest fel arată că în nuclee nu există condensat pionic, adică $n_c > n_0$. Totuși, multe fenomene nucleare pot fi explicate numai prin condiții apropiate de condensarea pionică.

În punctul critic, energia necesară generării pionului devine egală cu zero. În cazul în care densitatea se apropie, dar rămîne mai mică în valoare decît densitatea critică, nu există condensat. În acest caz, pentru transformarea unui pion virtual aflat în nucleu într-un pion real, trebuie totuși o energie mult mai mică decît energia necesară pentru generarea unui pion în vid. Desigur, pionul din groapă nu este nici el unul real; ca atare, el se numește „excitație cu numerele cuantice ale pionului". În apropierea punctului critic, aceste excitații au energie mică, din care cauză ele sînt denumite în jargonul fizicienilor, „excitații moi".

Astfel, valorile apropiate ale densităților nucleară și critică se manifestă prin apariția în nucleu a unui grad „moale" de libertate — corespunzător unor excitații amintind de mezonul pi, dar cu energie scăzută (gradul pionic de libertate). Interacțiunile dintre nucleonii din nucleu se modifică puternic datorită posibilității de a „schimba" între ei asemenea pioni „moi". Apare astfel un nou mecanism de interacțiune al nucleonilor: un nucleon emite un pion moale, altul îl absoarbe. Schimbul de pioni moi înlocuiește interacțiunea care are loc în vid pe seama schimbului de pioni obișnuiți „rigizi". Ca urmare, poziția unor nivele ale nucleului se modifică în mod substanțial. Calculul poziției nivelelor, cu luarea în considerare a „gradului de libertate pionic" este în bună concordanță cu experimentul și confirmă totodată corectitudinea valorilor adoptate pentru constantele care intervin în calcule. Calculele permit să se conchidă că nucleele sînt într-o stare foarte apropiată de condensarea pionică. Pînă și astfel de mărimi, cum ar fi energia de legătură a nucleului, asupra căreia gradul pionic de libertate are doar o influență indirectă, nu pot fi calculate exact fără a-l lua în considerare. Gradul de libertate pionic reprezintă un element necesar al calculelor efectuate în zilele noastre în domeniul nuclear. După verificarea experimentală a unei teorii, multe lucruri trebuie schimbate. În jargonul fizicienilor, partea care, rezistînd verificărilor, rămîne pînă la urmă, se numește „reziduu solid". Chiar dacă predicțiunea privitoare la stările anomale ale materiei nucleare nu se va confirma experimental, descoperirea gradului pionic de libertate va rămîne ca un „reziduu solid" al teoriei.

Posibilitatea existenței nucleelor supradense și neutronice

Așa cum am văzut, materia nucleară omogenă devine, pare-se, instabilă la densități $n > n_c$ și urmează să se comprime. Această concluzie trebuie considerată destul de verosimilă, întrucît se menține chiar și atunci cînd constantele teoriei variază între limite largi. Totuși, de aici încă nu rezultă neapărat că nucleele supradense există. Pentru stabilitatea lor se impune îndeplinirea unei serii de condiții. În primul rînd, energia unui astfel de nucleu trebuie să fie mai mică decît suma energiilor de repaus ale neutronilor și protonilor, altfel, nucleul se descompune în particule separate. În plus, nucleul trebuie să fie stabil în ceea ce privește fisiunea, adică nu trebuie să se desfacă în două sau mai multe părți. Și, în sfîrșit, pentru ca nucleele anomale să poată fi identificate în razele cosmice, ele trebuie să trăiască destul timp pentru a străbate distanțele cosmice, adică trebuie să fie stabile în ceea ce privește dezintegrarea β. Pentru formularea cantitativă a condițiilor de mai sus, este necesar să se știe cum se modifică energia nucleului de la densități mici ale nucleonilor, $n \sim n_0$, pînă la densități la care se așteaptă nuclee anomale stabile (după cum arată calculul, această densitate este de 3—6 ori mai mare față de n_0).

Energia nucleului se compune din energia proprie a nucleonilor și din energia cîștigată prin formarea condensatului. Întrucît la densitatea $n = n_0 \sim n_c$, energia proprie a nucleonilor este minimă, atunci, la $n > n_c$ ea va crește o dată cu n. Dar energia eliberată prin condensarea pionică compensează, parțial sau total, creșterea energiei nucleonilor.

Energia nucleului, scăzută din suma energiilor de repaus ale nucleonilor, poate avea, în funcție de valoarea densității, două minimumuri. Primul dintre ele corespunde nucleelor obișnuite. Al doilea, dacă el există la energii negative, corespunde nucleelor anomale. Nucleele supradense pot fi stabile atît la $N \cong Z$, cît și la $N \gg Z$ („nuclee neutronice"). Calculul arată că, asumînd valori acceptabile ale constantelor de interacțiune, nucleele neutronice pot fi stabile față de fisiune și dezintegrarea β. În funcție de modul în care se aleg unii parametri insuficient cunoscuți ai interacțiunii nucleon-nucleon, al doilea minimum poate lipsi, se poate afla sub zero, ceea ce corespunde nucleelor supradense stabile, sau se poate afla deasupra lui zero și atunci sistemul se risipește în nucleoni izolați.

Trebuie remarcat că problema calculării energiei nucleonilor și a energiei eliberate prin condensare la densități mari este foarte complicată. Rezolvarea ei a devenit posibilă numai de curînd, prin eforturile fizicienilor teoreticieni din Uniunea Sovietică și din străinătate. Deocamdată s-au obținut numai rezultate foarte aproximative, iar la imprecizia în alegerea parametrilor interacțiunii se adaugă și lipsa de precizie a teoriei însăși.

Din această cauză, nu se poate trage o concluzie privitoare la existența nucleelor anomale; se poate spune numai că existența lor este destul de verosimilă ca să se întreprindă cele mai mari eforturi pentru demonstrarea sau respingerea acestei ipoteze.

Căile posibile pentru descoperirea nucleelor anomale

Dacă nucleele supradense există și au o energie de legătură mai mare decît nucleele normale, acestea din urmă trebuie să treacă în starea supradensă. În afară de aceasta, dacă în natură nucleele anomale s-ar găsi laolaltă cu nucleele obișnuite, primele s-ar putea observa cu ajutorul energiei mari a cuantelor emise la captura neutronilor. Pînă acum, experiențele de aceste fel au dat un rezultat negativ.

Prezintă interes căutarea nucleelor anomale stabile sau β-active cu existență efemeră în produsele de fisiune ale nucleelor obișnuite.

Este posibil ca nucleele supradense să se formeze prin ciocnirea ionilor grei avînd energia de ordinul cîtorva sute de MeV pe nucleon. Unda de șoc astfel apărută poate provoca o creștere a densității materiei nucleare. Dacă în acest caz densitatea depășește valoarea critică n_c, atunci începe formarea fazei supradense. Independent de faptul dacă există sau nu nuclee supradense stabile, condensarea pionică trebuie să influențeze substanțial dinamica ciocnirii.

Se speră că nucleele anomale se pot găsi în razele cosmice. Sînt interesante și cercetările pentru descoperirea nucleelor supradense de origine cosmică, acumulate în intervale de timp cosmologice în straturile superficiale ale solului lunar și în meteoriți.

În sfîrșit, eventualitatea apariției materiei supradense ca rezultat al condensării pionice exercită o influență hotărîtoare asupra evoluției stelelor neutronice la densități de-

păşind densitatea nucleară. Vom discuta acest subiect în secţiunea următoare.

Uneori, faptul experimental se descoperă primul, impulsionînd astfel teoria. Alteori, teoria a apărut mai întîi şi a impus o verificare experimentală. Este greu de apreciat care dintre cele două situaţii a fost mai frecvent întîlnită în istoria fizicii. Experimentul şi teoria se stimulează în mod permanent. În cazul în care consecinţele teoriei expuse aici se vor confirma experimental, se va face un pas însemnat în înţelegerea naturii. Dacă teoria va fi infirmată, ea îşi va păstra totuşi valoarea metodologică şi va servi drept fundament pentru teorii mai reuşite. Ca întotdeauna, experimentul are ultimul cuvînt.

Soarta stelelor neutronice

Necunoaşterea naturii constituie cea mai mare nerecunoştinţă.

Pliniu cel Bătrîn

Voi încerca să vă relatez despre exploziile uriaşe ale stelelor şi despre stelele compuse din neutroni. Teoria prevede că în astfel de stele poate avea loc o transformare încă nedescoperită experimental — formarea materiei nucleare mult mai dense decît materia nucleelor atomice (iar densitatea nucleelor atomice este de circa 10^{14} g/cm^3).

Pentru a înţelege aceste fenomene, va trebui să ne referim la multe domenii ale fizicii. Aici astronomia şi teoria gravitaţiei se împletesc cu fizica particulelor elementare şi cu fizica nucleară.

Mai strălucitor decît o sută de miliarde de sori

Încă din vechime, astronomii au observat că din timp în timp şi pe neaşteptate, pe cer se aprind stele extrem de strălucitoare. O asemenea explozie a fost remarcată, de exemplu, de astronomii chinezi în 1054, în nebuloasa Crabului, care

intră în alcătuirea Galaxiei noastre. Acum „exploziile supernovelor" sînt bine studiate și au fost observate nu numai în Galaxia noastră, ci și în alte aglomerări stelare. În cîteva luni, o supernovă emite tot atîta lumină cît emite o galaxie întreagă, în care sînt înglobate sute de miliarde stele. După intensitatea și durata radiației, s-a putut stabili că energia totală emisă de o explozie de supernovă reprezintă circa $10^{43} — 10^{45}$ Joule. În același timp, energia termică a stelei este de o mie de ori mai mică. Și energia care s-ar fi putut elibera prin transformări chimice este mult mai mică. De unde provine atunci energia imensă a supernovei? Răspunsul s-a lăsat așteptat multă vreme. Speranțele de a explica exploziile supernovelor s-au conturat numai după descoperirea reacțiilor nucleare, care eliberează o energie de milioane de ori mai mare decît reacțiile chimice.

Reacțiile nucleare care au loc în interiorul stelei puteau constitui deci sursa de energie a supernovei. Există însă o sursă și mai puternică; energia gravitațională a stelei. Totuși, eliberarea acestei energii este posibilă numai prin intermediul transformărilor nucleare. Dacă în timpul reacțiilor nucleare densitatea părții centrale a stelei se mărește, atunci, sub influența forțelor de gravitație, materia regiunilor externe începe să cadă spre centru, dobîndind energie cinetică. Cu alte cuvinte, energia potențială a gravitației se transformă în energie cinetică a materiei stelare.

Densitatea stelei este determinată de echilibrul dintre forța de greutate și forța de presiune a materiei stelare. Pentru ca steaua să se contracte, presiunea trebuie să scadă. O scădere foarte puternică a presiunii ar putea avea loc numai la formarea unei stele neutronice, cînd protonii și electronii se transformă în neutroni. Vom încerca să explicăm acest fenomen.

Presiunea este proporțională cu energia cinetică a particulelor din care este compusă materia. La scăderea temperaturii, energia cinetică a particulelor scade și din acest motiv presiunea scade și ea. Totuși, pînă și la temperatura de zero absolut, energia cinetică a particulelor este diferită de zero. Neutronii, protonii și electronii se supun principiului de excluziune al lui Pauli, conform căruia, două particule identice cu spinul 1/2 nu pot să se găsească într-una și aceeași stare. Din acest motiv, chiar și la zero absolut, particulele nu sînt în repaus și au viteze diferite — sau, după cum se spune, sînt împrăștiate după viteze. Particulele cele mai ușoare au vitezele cele mai mari. Astfel, contribuția cea mai

mare la presiunea dintr-o stea o au electronii, a căror masă este de aproximativ două mii de ori mai mică decît masa protonului sau a neutronului. Nu este de mirare că forța de greutate comprimă materia nucleară pînă la o densitate mult mai mare decît materia obișnuită, formată din nuclee atomice și electroni. În acest caz, particulele ușoare sînt substituite cu particulele grele și densitatea scade brusc.

Dacă în urma transformărilor nucleare steaua ar putea deveni o stea neutronică, acest fapt ar duce la o comprimare bruscă a stelei și la eliberarea unei energii imense într-un timp scurt. Este această energie suficientă pentru explicarea exploziei supernovei? Întrebarea rămîne deocamdată fără răspuns. La o comprimare atît de bruscă a stelei, trebuie să apară unde elastice extrem de puternice, pornind din centru. Sub acțiunea lor, partea exterioară a stelei ar putea fi expulzată, transformîndu-se în gaz fierbinte, care circulă cu o viteză imensă. Luminozitatea acestui gaz ar explica și durata exploziilor supernovei.

Astfel, exploziile supernovei au încetat să mai pară fenomene misterioase; se crede că ele sînt urmări ale comprimării stelelor în decursul transformărilor nucleare.

Dar de la intuiție și pînă la afirmația bine demonstrată trebuie parcurs un drum lung, plin de îndoieli și demonstrații.

În 1932, James Chadwick a descoperit neutronul. Abia după doi ani, astronomii Karl Baade și Walter Zwicky au avansat presupunerea că exploziile supernovelor se produc în procesul nașterii unei stele neutronice. Pentru confirmarea sau respingerea acestei ipoteze, trebuiau studiate proprietățile materiei neutronice și clarificat dacă noul tip de materie se putea forma în interiorul stelei. Pentru aceasta însă a fost nevoie de circa treizeci de ani de cercetări teoretice și experimentări asupra materiei nucleare. Ce s-a aflat în urma acestor cercetări?

Fluidul neutronic

În 1937, L.D. Landau a emis ideea că o stea cu o masă suficient de mare trebuie să fie formată din materie neutronică. Pentru a se forma o materie neutronică, nucleele atomice și electronii trebuie să se transforme în neutroni. Să presupunem că steaua este compusă din oxigen. Nucleul unui atom de oxigen conține opt neutroni și opt protoni. Cei opt protoni și cei opt electroni care înconjoară nucleul

atomului de oxigen trebuie să se transforme în opt neutroni. Această reacție nu este convenabilă energetic, întrucît la formarea fiecărui neutron trebuie cheltuite cîteva milioane de electron-volți. Dacă masa stelei este destul de mare, procesul de formare a unui excedent de neutroni este favorizat de energia eliberată prin comprimarea stelei. În 1937, Landau a arătat că transformarea oxigenului în materie neutronică devine energetic posibilă începînd de la o masă stelară egală cu o mică fracțiune din masa Soarelui. Totuși, o asemenea transformare nu se poate produce dintr-o dată, ci numai printr-un lanț întreg de reacții nucleare; fiecare dintre aceste reacții necesită o cheltuială relativ nu prea mare de energie, care este preluată din energia mișcării termice a particulelor stelei.

Pentru a se demonstra convingător posibilitatea formării stelei neutronice, erau necesare informații suplimentare despre reacțiile nucleare și mai ales despre proprietățile materiei neutronice. Aceste informații au fost obținute prin analiza proprietăților nucleelor atomice, din experimentele de împrăștiere a neutronilor și protonilor pe nuclee. De exemplu, s-a constatat că, la distanțe mici, atracția dintre nucleoni (neutroni și protoni) se schimbă în respingere, ceea ce îngreunează comprimarea materiei nucleare pînă la o densitate care depășește de cîteva ori densitatea nucleară. Unele dintre nivelele energetice ale nucleului sînt legate de rotația lui în jurul axei proprii. Măsurînd energia liniilor spectrale emise prin tranzițiile dintre aceste nivele, se pot determina momentele de inerție ale nucleelor.

Momentele de inerție s-au dovedit a fi sensibil mai mici decît ar fi trebuit să fie în cazul unei bile cu aceeași rază și cu aceeași densitate ca nucleul. Deci, la rotație nu ia parte toată materia din nucleu. Prin urmare, părți separate ale nucleului se pot mișca fără frecare una față de cealaltă — altfel, în mod obligatoriu, toată masa nucleului s-ar fi rotit ca un întreg. Analiza teoretică a datelor privitoare la momentele de inerție ale nucleelor au permis în 1959 autorului acestei cărți să afirme că materia neutronică aflată la densitate nucleară trebuie să fie suprafluidă, adică să se miște fără frecare pînă la temperaturi $T \sim 10^{10}$ K (grade Kelvin).

Așadar, fizicienii au ajuns la concluzia că la presiuni mari, din materia obișnuită trebuie să se formeze o materie neutronică suprafluidă, care se va comprima în stele pînă la densități nucleare. Totuși, toate concluziile despre proprietățile materiei neutronice constituiau un joc abstract

al intelectului, atîta timp cît existența însăși a stelelor neutronice rămînea numai o presupunere verosimilă. Aceasta a fost situația pînă în 1968.

Descoperirea pulsarilor

În 1968, un grup de astronomi de la Cambridge a descoperit o stea cu radiația emisă în pulsuri — un pulsar. După numai un an, multe observatoare de pe glob identificaseră zeci de pulsari. Descoperirile au devenit posibile datorită dezvoltării radioastronomiei, permițînd observarea de obiecte cu luminozitatea de 10^{10} ori mai mică decît cea a stelelor vizibile cu telescoapele optice.

Pulsarii sînt stele care emit strict periodic, impulsuri radio cu durata de $10 \div 30\mu s$, și cu perioada de ordinul a $10^{-2} \div 1s$. Periodicitatea extrem de strictă a radiației, împreună cu forma complicată a impulsurilor i-au făcut pe astronomii care au descoperit primul pulsar să se gîndească la semnalele unei civilizații extraterestre. Totuși, după ce s-au descoperit zeci de pulsari în diferite regiuni ale Universului, această idee a căzut de la sine. Într-adevăr, apariția vieții este un eveniment cu probabilitate extrem de redusă, iar Universul nu poate fi atît de dens populat. În plus, presupunerea că toți extratereștrii ar da de știre în același mod despre existența lor este pur și simplu absurdă. Cum se explică atunci periodicitatea surprinzător de exactă a impulsurilor radio a pulsarilor?

Analiza detaliată a tuturor tipurilor de mișcări periodice i-a condus pe astrofizicieni la o concluzie univocă: perioada pulsarului corespunde perioadei de rotație a stelei în jurul axei proprii.

Prin urmare, pulsarul este o stea care se rotește cu o viteză uriașă: milioane de rotații într-o zi terestră. Vom vedea imediat că acest fapt are o consecință de cea mai mare importanță.

Pulsarii sînt stele neutronice

Pentru ca la o rotație atît de rapidă materia stelei să nu se împrăștie, forța de greutate de la suprafață trebuie să depășească forța centrifugă, ceea ce este posibil numai pentru

o densitate stelară foarte mare. Un calcul simplu arată că un pulsar cu perioada de rotație de 0,1 s trebuie să aibă densitatea mai mare decît 10^{10} g/cm^3. Materia obișnuită nu se poate comprima pînă la o astfel de densitate imensă. ci numai materia neutronică. Aceasta, la mase cît masa Soarelui și comprimată pînă la densitatea nucleară, se poate roti cu viteza unghiulară a pulsarului, fără să se împrăștie.

Fizicienii au ajuns, așadar, la concluzia că pulsarii sînt tocmai stele neutronice a căror existență a prevăzut-o Landau.

S-a confirmat și predicțiunea privitoare la suprafluiditatea materiei stelelor neutronice. S-a descoperit că în anumite cazuri, perioada pulsarului se micșorează brusc. Acest fenomen a fost numit „pauză". Micșorarea perioadei poate fi explicată în mod firesc printr-un cutremur stelar. Dacă la fiecare cutremur steaua devine mai puțin turtită, atunci momentul ei de inerție se micșorează; totodată, se micșorează și perioada de rotație.

Totuși, după începutul „pauzei", cînd cutremurul stelar s-a terminat, perioada continuă să se micșoreze încă un timp îndelungat: uneori, cîteva zile, alteori cîțiva ani. Modificarea atît de persistentă a perioadei se poate explica numai presupunînd că, după ce partea exterioară a stelei, formată din materie obișnuită, și-a accelerat mișcarea, miezul neutronic își mai continuă rotația cu viteza precedentă. Numai după un timp ceva mai îndelungat vitezele se egalează. Dar aceasta înseamnă că miezul neutronic se află în stare suprafluidă! Căci, în cazul frecării obișnuite, vitezele s-ar fi egalat în cîteva secunde.

Formarea stelelor neutronice este oare legată de explozia supernovelor, așa cum au presupus Baade și Zwicky?

Unii pulsari sînt într-adevăr situați acolo unde au avut loc explozii de supernove, cum ar fi pulsarul din nebuloza-tea Crabului. Dar, în majoritatea cazurilor, o astfel de legătură nu există.

Aceasta înseamnă că uneori stelele neutronice apar fără să provină din supernove, dimpotrivă, unele explozii survin în urma reacțiilor nucleare care nu duc la apariția de stele neutronice cu radiații de pulsar, sau, poate, supernovele apar după explozia unei stele neutronice. Dar, despre aceste fenomene vom vorbi ceva mai încolo.

Acum putem să ne ocupăm de istoria stelei neutronice a cărei masă crește. Masa stelei poate crește din cauza căderii unor corpuri cerești atrase gravitațional și din cauza unui

flux de materie provenit de la stelele vecine cu masa mai mică. Prin creșterea masei, densitatea din centrul stelei se mărește.

După cum vom vedea, la o densitate suficient de mare, fluidul neutronic trece brusc într-o stare nouă, supradensă. Atunci se degajă o cantitate imensă de energie, iar steaua explodează. Cauza tranziției este instabilitatea vidului în cîmpuri intense, fenomen despre care ne-am ocupat în secțiunea precedentă. La o densitate mare a materiei, apare condensatul pionic.

Dar în ce fel sînt legate între ele condensarea pionică și soarta stelelor neutronice de care ne interesăm aici?

Condensarea pionică și fluidul neutronic

Cînd densitatea din centrul stelei neutronice atinge valoarea critică n_c, corespunzătoare condensării pionice, în soarta stelei trebuie să se producă o cotitură dramatică. La început, în centrul stelei apare un nou germene: starea supradensă a materiei neutronice. O asemenea configurație se dovedește a fi instabilă: pe măsura creșterii razei noii stări, se eliberează energie gravitațională. În stare de echilibru, o parte însemnată a stelei trebuie să devină supradensă. Din acest motiv, germenele supradens începe să crească, iar materia din părțile exterioare ale stelei se îndreaptă cu mare viteză spre marginile germenelui supradens. Aproape de momentul în care raza germenelui supradens atinge mărimea corespunzătoare stării de echilibru, materia părților exterioare continuă să se miște în virtutea inerției, iar raza miezului depășește valoarea sa de echilibru. Întrucît echilibrul este încălcat, începe mișcarea inversă. Astfel, raza germenelui supradens mai întîi crește brusc, după care oscilează în jurul valorii comparabile cu razei stelei neutronice. Procesul de formare al stelei supradense durează miimi de secundă. În acest timp se eliberează o energie de cîteva ori mai mare decît energia degajată la formarea unei stele neutronice. Se poate întîmpla ca sub acțiunea undelor elastice apărute în timpul oscilațiilor razei miezului supradens, partea exterioară a stelei să fie expulzată într-o stare foarte fierbinte, iar tabloul exploziei să amintească pe cel al unei supernove.

Așadar, în afară de exploziile provocate de reacțiile nucleare care preced formarea unei stele neutronice, sînt posi-

bile și explozii de altă natură, apărute ca rezultat al condensării pionice după explozia stelei neutronice.

Care sînt consecințele posibile ale exploziei stelei neutronice?

Găurile negre

În cazul în care concluzia privind explozia stelei neutronice provocată de condensarea pionică va fi convingător demonstrată teoretic sau validată prin observații, acesta va însemna că stelele neutronice nu pot avea o densitate care să depășească valoarea critică n_c. (După cum o arată calculele, densitatea n_c are același ordin de mărime ca densitatea nucleară). Or, este principial important să se știe dacă există stele cu o densitate sensibil mai mare decît densitatea nucleară.

Conform teoriei generale a relativității, la o masă a stelei de 2—3 ori mai mare decît masa Soarelui, apare instabilitatea gravitațională, steaua începe să se comprime și, după ce raza ei devine mai mică decît o anumită valoare critică (numită rază gravitațională), nici un fel de forțe de respingere nu mai pot reține materia de la căderea spre centru, întrucît presiunea de contracție depășește presiunea de respingere a particulelor de materie.

Fenomenul se numește colapsul stelei și sfîrșește prin formarea unui nou obiect — gaura neagră.

Gaura neagră se manifestă practic numai ca o sursă de cîmp gravitațional. Corpul care nimerește în cîmpul gravitațional cade spre centrul găurii negre și încetează să mai fie vizibil. Oricare ar fi energia particulei, ea nu se poate smulge din gaura neagră, întrucît, conform teoriei lui Einstein, o dată cu creșterea energiei particulei, crește și masa ei și, prin urmare, crește și forța de atracție spre gaura neagră. Dintr-o gaură neagră nu numai că nu se poate lansa o navă cosmică, dar nu se pot emite nici un fel de semnale luminoase.

În sistemele stelare duble, materia stelei ușoare curge spre steaua cea mai grea. Analiza radiației curentului de materie permite să se bănuiască în cîteva cazuri că partenerul greu este de fapt o gaură neagră.

Dar dacă s-ar fi dovedit că în urma exploziei provocate de condensarea pionică stelele neutronice încep să-și împrăștie materia chiar din momentul în care ajung la densități nucleare, atunci găurile negre nu s-ar fi putut forma niciodată.

Un alt fenomen care trezește interesul față de materia supradensă este apariția unei noi stări — materia de quarci, fenomen care poate avea loc atunci cînd materia neutronică atinge o densitate suficient de mare.

Stele alcătuite din quarci

Să ne amintim afirmațiile din „Istoria unei simetrii". Toate particulele elementare care interacționează tare — particulele de acest fel de numesc hadroni — sînt formate din cîteva tipuri de quarci, care au sarcini electrice fracționare, egale cu — 1/3 sau + 2/3 din sarcina electronului. Neutronul și protonul (care sînt hadroni) sînt formați din trei quarci, iar mezonul pi, dintr-un quark și un antiquark. După cum se pare, quarcii nu există în stare liberă. Pînă acum, toate încercările de a descoperi un quark izolat nu au dat rezultate. În schimb, la distanțe mici între quarci, proprietățile lor sînt atît de bine studiate, încît în momentul de față majoritatea fizicienilor n-are dubii în privința existenței acestor particule. Din analiza experimentelor de împrăștiere a hadronilor pe hadroni s-a reușit să se stabilească faptul că la distanțe mici interacțiunea quarcilor se micșorează.

Acest fenomen a fost denumit libertate asimptotică.

Cînd se ciocnesc doi hadroni cu energie mare, quarcii conținuți se aceștia nu se împrăștie, ci se transformă în alți nucleoni sau mezoni pi.

Pentru a înțelege mai bine ce este hadronul, îl putem reprezenta ca pe un fel de sac în care quarcii se mișcă liber, dar din care nu pot ieși. Dacă apropiem între ei doi nucleoni la o distanță mai mică decît dimensiunile sacului, se obține un singur sac comun în care se vor afla șase quarci.

La o densitate mare a materiei neutronice, cînd distanța dintre neutroni devine comparabilă cu raza sacului, neutronii se descompun în particulele lor componente, iar materia neutronică se transformă în materie de quarci. După cum arată calculele, steaua devine o stea de quarci cînd densitatea ei este de 10—20 de ori mai mare decît cea nucleară. În cursul acestei tranziții se eliberează energie și poate avea loc încă o explozie a stelei.

Se realizează oare în natură starea de quark a stelei? Sau începînd încă de la densitatea nucleară materia nucleară explodează și se împrăștie? Este posibilă totuși formarea găurilor negre? Pînă și faptul că putem să ne punem astfel

de întrebări arată cît de mult am avansat în înțelegerea structurii stelelor neutronice.

Fiecare dintre noi percepe diferit frumusețea Universului. Am reușit oare să adaug nuanțe noi în imaginea dumneavoastră despre lume?

*

* *

Acum, cînd cartea s-a citit, să privim înapoi, și să tragem concluziile.

Fundamentul activității din orice domeniu al științei îl constituie metoda științifică de cunoaștere. Nu este vorba numai despre totalitatea procedeelor tehnice, cum sînt gamele pentru muzicieni, ci și despre ceea ce în muzică se numește teoria armoniei, adică fundamentul concepției despre lume a omului de știință. Metoda științifică permite să se separe verosimilul de imposibil, și să se facă distincție între intuiția cea mai frumoasă și mai verosimilă și afirmația demonstrată.

Cel mai important mijloc prin care se dobîndește adevărul științific este experimentul. Experimentul stabilește faptele. Dar o colecție de fapte trebuie transformată într-un sistem solid de reprezentări, într-o teorie care oferă posibilitatea prevederii de noi fenomene. Și aici rolul de frunte îl joacă intuiția și bunul simț.

Așa după cum alpinistului îi sînt necesare nu numai stăpînirea tehnicii de escaladare, nu numai pregătirea fizică respectivă, ci și excelente calități psihice, și omului de știință îi sînt necesare stăpînirea ireproșabilă a metodei științifice și autoeducarea pentru o muncă plină de abnegație.

Curiozitatea, dorința de a afla cum este alcătuită natura, capacitatea de a te uimi, de a te bucura de orice descoperire, aptitudinea de a recepta frumusețea — iată calitățile care trebuie să determine alegerea unei profesii științifice.

Celor care s-au decis să se dedice științei, li se dezvăluie ca o răsplată uimitoarea armonie și frumusețe a naturii, altfel ascunsă celei mai agere priviri. Din fenomene disparate se naște imaginea unitară a Universului.

Toate aceste remarci sînt valabile pentru oricare dintre științele experimentale: fizica, chimia, biologia, astronomia... Ce este însă fizica teoretică și cum lucrează fizicienii teoreticieni? Ei studiază natura cu creionul și hîrtia, deducînd noi relații între mărimile observabile, bazîndu-se pe legile naturii, stabilite anterior experimental și teoretic. Scopul fizicii teo-

retice este să realizeze un tablou cît mai exact posibil al lumii, folosind toate faptele experimentale și teoretice cunoscute, precum și ideile bazate pe intuiție, care vor fi în perspectivă verificate de experiment. Am urmărit împreună drumul teoreticienilor, alegînd exemplul istoriei apariției și dezvoltării teoriei cuantice, — care ilustrează drumul greu de la intuiția vagă la adevărul științific.

Procedeele tehnice concrete ale teoreticianului încep cu analiza calitativă, cînd aproape fără calcule, se obțin relații aproximative între mărimi, se clarifică tabloul fizic al fenomenului și se conturează proiectul soluției. Apoi, cu ajutorul aparatului matematic al teoriei, se obțin relațiile cantitative.

Trecînd la tainele structurii Universului, se poate vedea că obiecte ale cercetării de fizică aparent depărtate unele de altele — vidul, nucleele, stelele — sînt de fapt strîns legate între ele. Toate domeniile fizicii se împletesc într-un singur mănunchi și constituie o realizare concretă a principiului unității naturii.

Atunci cînd înveți o limbă străină, după o toceală îndelungată a cazurilor și a formelor gramaticale, după ce ai impresia că nu înțelegi nimic, survine deodată clipa minunată a clarviziunii și cuvintele necunoscute se transformă într-un sonet de Shakespeare, într-o comedie de Molière sau în rînduri ale lui Cervantes. Aceeași minune îi așteaptă și pe cei care învață limbajul Naturii. După îndoieli, după greșeli, după căutări, după nenumărate enigme, ni se deschide, plină de minuni, infinit de frumoasă, o lume nouă.

Indice terminologic

Accelerația Coriolis — accelerație care apare la trecerea în sistemul de coordonate care se rotește o dată cu Pămîntul.

Antineutrino — antiparticula neutrinului, care se deosebește de acesta din urmă prin semnul sarcinii leptonice și prin spiralitate.

Antiparticule — se deosebesc de particulele corespunzătoare prin semnul sarcinii electrice, al momentului magnetic, al sarcinii barionice sau leptonice și prin stranietate (sau, de exemplu, în cazul quarkului cu farmec, prin semnul farmecului).

Aromele quarcilor — tipurile de quarci. Există șase arome: sus, jos, straniu, farmec, frumusețe și vîrf, ultimul încă nedovedit experimental.

Barioni — particule care interacționează tare și care au spinul semiîntreg.

Catastrofa Rayleigh-Jeans — paradox fizic — aplicarea fizicii statistice la undele electromagnetice staționare într-o cutie duce la o energie infinită a undelor. Rezolvarea paradoxului l-a dus pe M. Planck (1900) la ideea modificării în salțuri a energiei oscilatorilor care emit unde electromagnetice. Astfel a apărut mărimea h — constanta lui Planck.

Cîmp gluonic — cîmpul care realizează interacțiunea dintre quarci și care îi menține în interiorul hadronilor.

Cîmpuri Fermi — cîmpuri care descriu particule cu spinul 1/2.

Colapsul unei stele — comprimarea catastrofal de bruscă a stelei sub acțiunea forțelor gravitaționale.

Condensare pionică — restructurarea vidului sub influența cîmpului electric sau în mediul nuclear cu formarea cîmpului pionic suplimentar, a „condensatului".

Constanta lui Boltzmann — constanta k, egală cu raportul dintre constanta universală a gazelor R și numărul lui Avogadro, N, avînd valoarea $k = 1{,}38 \times 10^{-23}$ J/K (L. Boltzmann, 1872).

Constanta lui Planck — constanta fundamentală a teoriei cuantice. Determină porțiile posibile de energie ale oscilatorului cu frecvența ω: $E = (n+1/2)\hbar\omega$, ($\hbar = 1{,}055 \cdot 10^{-27}$ erg·s).

Constanta structurii fine — determină interacțiunea sarcini-

lor electrice cu fotonii; $\alpha = e^2/hc = 1/137$.

Cromodinamică — teoria care descrie dinamica gluonilor și quarcilor în interacțiune.

Cuantă — porția de energie a cîmpului electromagnetic.

Cuanta gama — foton de mare energie. Apare la tranzițiile cuantice din nucleele atomice și în reacțiile particulelor elementare.

Cuantificarea rotației — aplicarea mecanicii cuantice la corpul în rotație are drept consecință faptul că momentul cinetic și proiecția acestuia pe o axă oarecare se schimbă în porții discrete, egale cu h.

Culoare — număr cuantic care caracterizează starea unui quark din punctul de vedere al cromodinamicii.

Dezintegrarea alfa — dezintegrare radioactivă a nucleelor atomice, cu emiterea unei particule alfa, în urma căreia sarcina nucleului se micșorează cu 2 unități, iar numărul de masă, cu 4 unități.

Dezintegrarea beta — transformare radioactivă a nucleelor însoțită de emisia unui electron și a unui antineutrino, sau a unui pozitron și a unui neutrino.

Difracție — devierea razelor de lumină la trecerea pe lîngă un obstacol, condiționată de natura ondulatorie a luminii.

Dimensiune — expresie care stabilește legătura mărimii fizice cu mărimile care constituie baza sistemului de unități. Astfel, dimensiunea vitezei este lungimea împărțită la timp. Arată cum se schimbă mărimea la schimbarea sistemului de unități. Independența legilor fizice față de alegerea unităților de măsură se manifestă prin aceea că în fizică toți termenii ecuațiilor au aceeași dimensiune.

Dualismul corpuscular-ondulatoriu (dualismul undă-particulă) — reprezentare conform căreia orice microobiecte de materie (fotonii, electronii, protonii, atomii și altele) posedă atît proprietățile particulei cît și pe cele ale undei. Mecanica cuantică înlătură această contradicție. În funcție de caracterul măsurătorii, se relevă fie unele, fie altele dintre proprietățile obiectelor cuantice.

Ecuația lui Dirac — ecuație a mecanicii cuantice care descrie particulele cu spinul 1/2: electronii, pozitronii, miuonii, quarcii, satisfăcînd condițiile teoriei relativității (P. Dirac, 1928).

Ecuația lui Schrödinger — ecuația fundamentală a mecanicii cuantice nerelativiste; permite determinarea stărilor posibile ale sistemului, precum și modificarea acestuia în timp. (E. Schrödinger, 1926).

Ecuația Young-Mills — ecuație ce descrie dinamica cîmpului gluonic.

Efectul fotoelectric extragerea, cu ajutorul luminii, a electronilor din atom sau a protonilor din nucleu (efectul fotonuclear).

Electrodinamica — descrie dinamica cîmpului electromagnetic în interacțiune cu particulele încărcate.

Electrodinamica cuantică — teoria cuantică a cîmpului electromagnetic și a interacțiunii sale cu particulele încărcate. Descrie toate tipurile de interacțiune ale radiației cu materia și interacțiunea electromagnetică dintre particulele încărcate.

Eter — mediu ipotetic, folosit în sec. XVII—XIX pentru explicarea legilor de propagare a luminii.

Expansiunea Universului — conform teoriei cosmologice a lui

Einstein, Universul se dilată (soluția lui Fridman, 1922). Această predicțiune s-a confirmat prin observații astronomice: aglomerările de stele se află în recesiune (E. Hubble, 1923), ca rezultat al exploziei materiei supradense care a avut loc cu circa 20 de miliarde de ani în urmă. Confirmarea cea mai convingătoare a venit după descoperirea radiației relicte.

Experimentul lui Fizeau — măsurarea vitezei luminii într-un lichid aflat în mișcare (1851).

Experiența lui Michelson — a demonstrat independența vitezei luminii față de mișcarea Pămîntului (1881).

Fluctuații — abateri întîmplătoare ale mărimilor fizice de la valorile lor medii, provocate de mișcarea termică sau de nedeterminarea cuantică.

Formula lui de Broglie — fiecărei particule cu energia E și cu impulsul p îi corespunde o undă („unda lui de Broglie") cu lungimea $\lambda = 2\pi h/p$ și cu frecvența $\omega = E/h$ (L. de Broglie, 1923).

Foton — cuantă a cîmpului electromagnetic, particulă elementară neutră cu masa nulă și spinul 1; transportă interacțiunea electromagnetică între particulele încărcate.

Funcție de undă (funcție psi) — mărime fundamentală a mecanicii cuantice, care descrie starea sistemului și care permite să se găsească probabilitățile și valorile medii ale mărimilor fizice.

Gaură neagră — obiect cosmic care ia naștere prin colapsul gravitațional al stelelor masive. Radiația găurii negre este oprită de gravitație; astfel încît gaura neagră poate fi detectată numai prin gravitație sau prin radiația de frînare a gazului care cade din afară.

Gluodinamica — teoria interacțiunilor cîmpurilor gluonice între ele, în absența quarcilor. Este considerată ca o etapă în studierea cromodinamicii.

Gluon — cuanta unuia dintre cele opt cîmpuri gluonice, care, la fel că fotonul, are masa zero și spinul 1.

Gradient (al unei mărimi oarecare) — vector care caracterizează modificarea mărimii respective la deplasarea într-o direcție dată. Se definește ca diferența valorilor mărimii respective în două puncte vecine, alese în lungul direcției date, împărțită la distanța dintre aceste puncte.

Gradul de libertate pionic — categorie de excitații ale nucleului cu numerele cuantice ale pionului.

Graficele (diagramele) lui Feynman — mijloc de a obține relații între mărimi cu ajutorul desenelor ilustrînd procesele studiate și care se descifrează la sfîrșitul lucrării (R. Feynman, 1949).

Gravitație — atracția universală dintre toate corpurile. Atracția gravitațională este proporțională cu produsul dintre energiile totale ale particulelor în interacțiune (și nu doar cu produsul maselor, întrucît fotonul, care are masa egală cu zero, este deviat de către cîmpul gravitațional al Soarelui).

Groapă de potențial — regiune din spațiu în care energia potențială este mai mică decît în afara ei.

Hadroni — particule (barioni și mezoni) care interacționează tare.

Impuls — măsură a mișcării mecanice, egală în cazul punctului material cu produsul dintre masă și viteză; mărime vectorială avînd aceeași direcție ca viteza punctului material.

Interacțiune din aproape în aproape — reprezentare conform căreia interacțiunea dintre

corpurile aflate la distanță unul față de celălalt are loc cu ajutorul mediului, sau prin alte verigi intermediare, care transmit interacțiunea dintr-un punct în altul cu viteză finită.

Interacțiune la distanță — reprezentare după care acțiunea corpurilor unul asupra celuilalt se transmite la distanță fără participarea mediului.

Interacțiune electromagnetică — interacțiune a particulelor încărcate prin cîmpuri electrice sau magnetice. La nivel cuantic, are loc prin schimb de fotoni virtuali. Determină forțele dintre nuclee și electroni în atomi și molecule; duce la emisia și absorbția undelor electromagnetice de către particulele încărcate.

Interacțiune slabă — una dintre interacțiunile fundamentale, la care iau parte toate particulele elementare; condiționează majoritatea dezintegrărilor (slabe) ale particulelor elementare, interacțiunea neutrinului cu materia și altele. În interacțiunea slabă se încalcă paritatea spațială (simetria la reflexie) și reversibilitatea timpului.

Interacțiune tare — cea mai puternică dintre interacțiunile fundamentale ale particulelor elementare, depășind-o pe cea electromagnetică de circa 100 de ori. Are raza de acțiune de 10^{-13} cm. Interacțiunea tare are loc între hadroni.

Interferență — interacțiunea undelor care se deplasează pe drumuri diferite, dar provin de la o singură sursă. În locurile în care fazele oscilațiilor coincid, are loc amplificarea acestora, iar în locurile în care fazele sînt opuse, are loc extincția oscilațiilor.

Invarianța izotopică a interacțiunilor tari — independența interacțiunilor tari față de sarcina electrică a particulelor cu un spin izotopic dat.

Invarianță — proprietatea unor mărimi de a rămîne neschimbate la modificarea condițiilor fizice sau la anumite transformări, cum ar fi transformarea coordonatelor și a timpului prin trecerea de la un sistem de referință la altul.

Invarianța la etalonare — invarianța fenomenelor electrodinamice la modificarea potențialului vector care conservă mărimea și direcția cîmpurilor electric și magnetic în fiecare punct. Aceasta este o simetrie locală care asigură, în particular, legea lui Coulomb.

Izospinul (spinul izotopic) — caracteristică internă a hadronilor care determină numărul n de particule avînd proprietăți asemănătoare: $n = 2I+1$, unde I este izospinul.

Izotropia spațiului — independența proprietăților spațiului față de direcție.

Împrăștiere (difuzie) — trecînd prin materie, particulele sînt împrăștiate de atomii sau nucleele mediului. Interacțiunea particulelor cu mediul este caracterizată de numărul de particule împrăștiate sub un unghi dat, împărțit la unitatea de flux al particulelor incidente. Știind numărul de atomi din unitatea de volum a substanței, se poate calcula secțiunea unui atom sau nucleu corespunzătoare unghiului de împrăștiere dat.

Împrăștiere inelastică — proces de ciocnire în care se transmite energie, se modifică starea internă a particulelor, se formează noi particule.

Legea lui Rayleigh — intensitatea luminii difuzate este invers proporțională cu puterea a patra a lungimii de undă a luminii, fapt datorită căruia razele albastre sînt mai puternic

difuzate decît cele roșii, ce explică de ce este albastru cerul (1871).

Legi de conservare — anumite mărimi fizice nu se schimbă în timp în diverse procese. Legi de conservare: a energiei, impulsului momentului cinetic, sarcinii electrice...

Leptoni — particule elementare cu spinul 1/2 care nu iau parte la interacțiunea tare. Există trei lepton încărcați: electronul, e^- miuonul, μ^- și tritonul τ^- și trei leptoni neutri: neutrinul electronic ν_e, neutrinul miuonic, ν_μ și neutrinul — tau, ν_τ.

Libertate asimptotică — proprietate a unor teorii a interacțiunilor tari care constă în faptul că forțele dintre particule scad la distanțe mici.

Lungime de undă — distanța dintre crestele undelor unui proces ondulatoriu.

Lungimea Planck (P) — distanța la care oscilațiile cuantice de zero ale cîmpului gravitațional distorsionează complet geometria euclidiană ($P = 2 \cdot 10^{-33}$ cm).

Marea unificare — încercarea de a explica în mod unificat interacțiunile electromagnetice, slabe și tari.

Mărimi adimensionale — mărimi care nu depind de alegerea sistemului de unități de măsură. Astfel, valorile numerice ale lungimii unei mese depind de modul de alegere al unității de lungime, dar raportul dintre lungimea și lățimea mesei este o mărime adimensională.

Mărimi tensoriale — mărimi care, la rotații, se transformă ca produsele de vectori.

Mecanica cuantică (mecanica ondulatorie) — teorie care descrie legile împrăștierii și mișcării microparticulelor în cîmpuri exterioare. Trăsăturile ei distinctive sînt caracterul probabilist al predicțiunii rezultatelor unor măsurători și caracterul discret al valorilor posibile ale mărimilor fizice cum ar fi energiile electronului în atom, momentul cinetic și proiecția lui pe o direcție oarecare... Mecanica cuantică a permis să se înțeleagă pentru prima oară structura atomilor și spectrele lor, natura legăturii chimice, să se explice sistemul periodic al elementelor, a permis să se înțeleagă supraconductibilitatea, suprafluiditatea... Stă la baza teoriei nucleului atomic.

Mecanica ondulatorie — vezi mecanica cuantică.

Mezoni — hadroni cu spinul întreg, fără sarcină barionică (mezoni ρ, mezoni K, mezoni π și alții) constituiți dintr-un quark și un antiquark.

Mezonii K (kaonii) — particule avînd stranietate, cu spinul zero și cu masa de circa 970 de ori mai mare decît masa electronului. Există doi mezoni K încărcați și doi mezoni K neutri.

Mezonii pi (pionii) — hadroni pozitivi, negativi și neutri cu spin zero și stranietate zero, cu masa de circa 270 de ori mai mare decît masa electronului.

Neutrino — particulă stabilă neutră cu spinul 1/2, cu masa nulă sau aproape nulă, lepton; ia parte numai la interacțiunile slabe și gravitaționale. Există trei tipuri de neutrino (vezi „leptoni").

Nucleon — denumirea comună pentru neutron și proton.

Numere cuantice — numere care caracterizează starea sau proprietățile interne ale particulelor — momentul, sarcina, energia...

Oscilații de zero — oscilații ale coordonatei și vitezei oscilatorului în starea fundamentală, oscilații în vid ale cîmpurilor care descriu particule (generarea și anihilarea particulelor virtuale).

Oscilator — sistem care oscilează în jurul poziției de echilibru.

Parametru de ordine — mărime care caracterizează modificarea simetriei materiei înainte și după tranziția de fază.

Paritate — număr cuantic care caracterizează simetria funcției de undă a unui sistem fizic, sau a unei particule elementare la reflexie; dacă la o astfel de transformare funcția de undă nu-și schimbă semnul, paritatea este pozitivă; dacă și-l schimbă — paritatea este negativă.

Particula alfa — nucleul atomului de heliu, format din doi protoni și doi neutroni.

Particule stranii — particule elementare cu stranietatea diferită de zero (de exemplu, barionul Ξ, mezonul K etc.).

Particule virtuale — particule care în conformitate cu teoria cuantică a cîmpului apar pentru un timp scurt. Interacțiunea dintre particule se produce ca rezultat al schimbului de diferite particule virtuale.

Perioada oscilațiilor — cel mai mic interval de timp după care sistemul se reîntoarce în starea inițială.

Postulatele lui Bohr — ipotezele de bază din teoria atomului a lui Niels Bohr (1913). Ele stabilesc regulile de determinare a stărilor staționare ale atomului, corespunzătoare unor valori fixate ale energiei interne. Frecvențele radiației sînt legate de diferența energiilor stărilor staționare prin relația $\omega_{nm} = (E_n - E_m)/h$.

Potențialul vector — mărime auxiliară ai cărei gradienți determină cîmpurile electrice și magnetice în fiecare punct spațio-temporal.

Principiul cauzalității — principiu conform căruia cauza precede efectul.

Principiul complementarității — necesitatea descrierii proprietăților obiectelor cuantice în limbajul clasic al aparatelor de măsură duce la multe paradoxuri. Conform principiului complementarității, formulat de Niels Bohr (1927), soluționarea acestor paradoxuri constă în complementaritatea descrierii clasice și cuantice a proprietăților microobiectelor. În funcție de condițiile de măsurare, electronul se comportă fie ca undă, fie ca particulă. Determinarea traiectoriei particulei îi maschează proprietățile ondulatorii. Experimentul care relevă interferența lasă nedeterminată traiectoria. Descrierea clasică și proprietățile cuantice sînt complementare.

Principiul corespondenței — principiul conform căruia teoria trebuie să treacă în teoria anterioară, mai puțin generală, în acele condiții în care a fost stabilită teoria anterioară.

Principiul incertitudinii — principiu fundamental al teoriei cuantice, conform căruia anumite mărimi (complementare) cum ar fi coordonata și impulsul nu pot avea simultan valori determinate. Pentru coordonata q și pentru impulsul p, produsul nedeterminărilor este mai mare sau egal cu $2\pi h$ (Heisenberg, 1927).

Principiul lui Pauli (de excluziune) — două sau mai multe particule identice cu spin semiîntreg nu se pot afla simultan în aceeași stare (W. Pauli, 1925).

Principiul observabilității — principiul conform căruia în știință nu trebuie introduse mărimi principial neobservabile.

Pulsar — sursă cosmică de impulsuri periodice (pulsații) de radiație electromagnetică. Este identificată cu steaua neutronică rotitoare avînd perioada pulsațiilor.

Quarci — particule din care sînt compuși hadronii. Spinul quarcilor este 1/2, sarcina electrică 2/3 sau —1/3, iar cea barionică 1/3. Mezonii sînt compuși dintr-un quark și un antiquark, iar barionii, din trei quarci. Se presupune că există șase tipuri — arome — de quarci și de antiquarci. Fiecare dintre aceste particule se poate găsi într-una dintre cele trei stări de culoare.

Radiația corpului negru — radiația de echilibru din interiorul unei cutii cu pereții încinși.

Radiație relictă — radiație electromagnetică rămasă de pe timpul cînd Universul era supradens, răcită între timp, datorită expansiunii Universului.

Rezonanțe — hadroni care se pot dezintegra pe seama interacțiunii tari, din care cauză trăiesc foarte puțin 10^{-22}—10^{-21}s.

Sarcină barionică (număr barionic) — una dintre caracteristicile interne ale barionilor. Toți barionii au sarcina barionică +1, toți antibarionii, —1, iar restul particulelor, sarcina barionică zero.

Sarcină leptonică — dacă li se asociază leptonilor un număr cuantic oarecare, cum ar fi sarcina leptonică egală cu +1, iar antileptonilor sarcina leptonică —1, atunci sarcina leptonică astfel definită se conservă în toate procesele cunoscute.

Scalar — mărime care nu se schimbă la rotațiile sistemelor de coordonate.

Secțiune de împrăștiere — numărul de particule împrăștiate în unitatea de timp, împărțit la densitatea fluxului de particule incidente pe țintă. Secțiunea de împrăștiere caracterizează suprafața umbrită de particule care produce împrăștierea.

Simetrie — invarianța obiectelor fizice la anumite transformări, de exemplu la translațiile și rotațiile sistemului de coordonate.

Simetria combinată de sarcină și la reflexie — invarianța legilor naturii simultan față de reflexie și schimbarea semnului sarcinilor.

Simetrii globale — simetrii cărora le corespund operații independente de punctele din spațiu, de exemplu, atunci cînd în tot spațiul are loc aceeași translație sau rotație.

Simetrii interne — simetrii care caracterizează proprietățile cîmpurilor, ale particulelor sau fenomenelor, nelegate de transformarea coordonatelor spațiale, așa cum ar fi de pildă simetria izotopică.

Simetrie locală — invarianța legilor naturii față de translații, rotații sau alte transformări (vezi **invarianța la etalonare**) diferite în diverse puncte spațio-temporale.

Simetria la reflexie — invarianță aproximativă a majorității legilor naturii față de reflexia în oglindă. O încălcare flagrantă a acestei simetrii are loc numai în tranzițiile provocate de interacțiunile slabe. În cazul reacțiilor chimice, cînd apar molecule asimetrice una față de alta la oglindire, așa cum sînt între ele mîna stîngă și cea dreaptă, numărul de molecule drepte este egal cu numărul de molecule stîngi.

Simetria spațio-temporală — invarianța fenomenelor naturii față de translații, rotații și reflexii în spațiul-timp cvadridimensional.

Spin — momentul cinetic propriu al particulei, nelegat de mișcarea particulei ca întreg; se măsoară în unități ale constantei lui Planck, h, și poate fi întreg sau semiîntreg.

Spinor — mărime care se schimbă după o lege determinată la rotația sistemului de

coordonate. Din mărimile spinoriale se poate alcătui o expresie pătratică invariabilă la rotații (un scalar), ca și o mărime care se schimbă la rotații ca un vector.

Spiralitate — proiecția spinului pe direcția mișcării. Dacă spinul este îndreptat în sens contrar mișcării particulei, spiralitatea este negativă („stîngă"), dacă este îndreptată în sensul mișcării, atunci este pozitivă („dreaptă"). Electronul poate avea diverse valori ale spiralității, în funcție de condițiile experimentului. Particulele cu masa nulă au spiralitatea determinată: astfel, neutrinul are spiralitatea negativă; neutrinul este o particulă „stîngă", în timp ce antineutrinul este o particulă „dreaptă".

Stare legată — de exemplu, particulele aflate în groapa de potențial. Stare cu energia mai mică decît energia unei particule aflată în repaus în afara gropii. Energia care trebuie comunicată particulei pentru a o elibera din groapă se numește energie de legătură.

Stare staționară — o stare stabilă a sistemului cuantic, în care toate mărimile fizice care caracterizează sistemul nu depind de timp.

Starea fundamentală a sistemului cuantic — starea cu energie minimă.

Stea neutronică — stea a cărei parte centrală este compusă din neutroni (vezi „pulsar").

Stranietate — număr cuantic întreg (în speță zero, pozitiv sau negativ), caracterizînd hadronii. Stranietatea particulelor și antiparticulelor nu se conservă în interacțiunile slabe.

Supernove — stele care explodează brusc emanînd o energie colosală. În decurs de cîteva luni, supernovele radiază tot atîta energie cît întreaga Galaxie. Unul dintre mecanismele de formare a supernovei este următorul: în urma comprimării gravitaționale, partea centrală a stelei se transformă într-o stea neutronică, iar materia straturilor exterioare este expulzată cu o viteză de mii de kilometri pe secundă.

Supraconductibilitate — apare la unele metale (supraconductoare) la răcirea lor sub temperatura critică și constă în anularea rezistenței electrice și în împingerea în afară a cîmpului magnetic al probei. Descoperită de H. Kammerling Onnes (1911).

Suprafluiditate — proprietate a fluidului cuantic de a curge fără frecare internă prin orificii înguste, capilare etc.; este legată de trecerea unei părți din atomii fluidului în starea cu impuls zero. Descoperită de P.L. Kapița la heliul lichid (1937).

Tranziție de fază — trecerea materiei dintr-o stare într-alta, deosebită prin caracterul simetriei (prin parametrul de ordine). De exemplu, trecerea lichid-cristal.

Vector — segment de lungime și direcție determinate. Forța, viteza, cîmpul electric sînt reprezentate prin vectori.

Vector de undă — vectorul orientat paralel cu viteza undei, avînd mărimea $k=2\pi/\lambda$, unde λ este lungimea de undă.

Vidul — spațiul fizic gol. În teoria cuantică a cîmpului, vidul este starea energetică cea mai joasă a cîmpului cuantic. Numărul mediu de particule din vid este egal cu zero, dar în acesta au loc generarea și anihilarea particulelor virtuale care influențează procesele fizice.

Cuprins

Prefață *de Gheorghe Stratan* 5

METODA ȘTIINȚIFICĂ DE CUNOAȘTERE 17

De la intuiție la adevăr 18

„Cum să te înțeleagă celălalt?..." 18
„Știința este adevărul înmulțit cu îndoiala" 22
„Aș vrea să cred, dar n-am temeiuri" 23
Cum se nasc legendele 25
„...Necazu-i cînd s-o apuca de copt colaci nepriceputul" 30

Putem deosebi adevărul de minciună? 33

„Îndoiala îmi oferă tot atîta desfătare cît cunoașterea" 33
„Ca să nu încalci, să nu zdruncini, să nu distrugi, ci să construiești..." 35
„Civililor le place să emită judecăți în probleme militare..." .. 38
În codru, pe cînd tot pășeam înainte... 41
Cum se edifică teoriile 44
Alegerea direcției .....

Instrumentele cunoașterii 49

Ce-a fost mai întîi, oul sau găina? 51
Să nu violentăm natura, ci s-o întrebăm 52
„Numai deplinul naște claritatea, dar adevărul se ascunde în întuneric" 57

Erorile 59

„Neștiința nu-i o dovadă, ignoranța nu-i un argument" 60
— Nu prea e de crezut să fie șoareci pe spinarea calului... 62
„Atîrnați de undiță cîrlig-minciuna, și-nfigeți adevărul drept momeală..." 64

DESPRE PSIHOLOGIA CREAȚIEI ȘTIINȚIFICE 69

Atracția către creația științifică 70

Curiozitatea, exprimarea, afirmarea 71
Capacitatea de a te uimi și paradoxurile științifice 72
Simțul frumosului 79

Recifele 79

Este mai important cum gîndești decît ce gîndești 80
Simptomele „marii descoperiri" 81
Superstiții și legende 82
Trebuie înțeles dinainte? 83
„Slujirea muzelor nu-ngăduie deșertăciunea..." 84
Cîți îngeri încap pe un vîrf de ac? 86
Geniilor — respectul cuvenit! 88
„Văd barba, dar nu-l văd pe filosof" 89

Secretele meseriei 93

Lacrimile ascunse 94
Fantezia bine temperată 96
Stilul activității științifice 98
Lucrări „certe" și „incerte" 100
Stilul la sfîrșitul secolului al XX-lea 102
Rolul mașinilor de calcul 104
Bunul simț 107
„Nu dau sfaturi, totuși, voi spune că..." 109
Cîteodată greșeala se vede dintr-o dată 110
Analiza logică 111

DESPRE FRUMUSEȚEA ȘTIINȚEI 114

În căutarea frumuseții 115

Algebra și armonia 115
Frumusețea construcțiilor logice 117
Frumusețea ascunsă 121
Simetria 123
Natura nu suportă simetriile exacte 130
A cuprinde necuprinsul 132

Spațiul este simetric? 134

Legile de conservare decurg din simetria spațiului și timpului 134
De ce inima se află în stînga? 136
Încălcarea simetriei la reflexie în interacțiunile slabe 138
Simetria la sarcină și la reflexie. Antilumile 140

Simetria internă 142

Invarianța de etalonare 142
Indiscernabilitatea particulelor identice 144
Simetria izotopică 146
Stranietatea 147

Istoria unei simetrii 148

Începutul istoriei 148
Quarcii 149

Trebuie să colorăm quarcii! 151
Quarcii nu pot trăi unul fără altul 152
Cîmpul care lipește quarcii 154
Comoara uitată 157

CUM LUCREAZĂ FIZICIENII 160

Sarcinile fizicii 161

Experimentatorii și teoreticienii 161
Fizica și matematica 163
Căile de dezvoltare 165

Cum a fost creată mecanica cuantică? 166

Începutul erei cuantice 167
Undă sau particulă? 168
Postulatele lui Niels Bohr 169
Intuiția lui de Broglie 170
Mecanica cuantică 170
Coordonata sau viteza? 173
Semnificația fizică a funcției de undă 175
Este oare încălcată cauzalitatea? 176
Se poate modifica starea unei particule fără a o atinge! 178
„Se poate îndrepta, dar va fi mai rău..." 183

Calcule fără calcule 186

Estimări dimensionale 187
Oscilatorul generalizat 188
Cum să intuiești soluția? 190
Corecțiile la electrodinamica în cîmp intens 192

Teoria cuantică a particulelor și cîmpurilor 194

Cuantificarea atomului 194
Cuantificarea rotației 196
Oscilatorul cuantic 198
Cuantificarea cîmpului 201

VIDUL, NUCLEELE, STELELE 205

Cum este alcătuit vidul? 206
Se poate împinge un corp fără a-l atinge? 206
Proprietățile electromagnetice ale vidului 208
Eterul a murit, trăiască eterul! 210
Mecanica cuantică a cîmpurilor din vid 211
Jerbe de particule 213
Licărirea geometriei 214

Instabilitatea vidului și stările neobișnuite ale materiei nucleare 216

Tranzițiile de fază 217
Tranzițiile de fază ale vidului 218
Condensarea pionică 220
Instabilitatea materiei nucleare la densitate mare 221
Gradul de libertate pionic 223

Posibilitatea existenței nucleelor supradense și neutronice 224
Căile posibile pentru descoperirea nucleelor anomale 225

Soarta stelelor neutronice 226

Mai strălucitor decît o sută de miliarde de sori 226
Fluidul neutronic 228
Descoperirea pulsarilor 230
Pulsarii sînt stele neutronice 230
Condensarea pionică și fluidul neutronic 232
Găurile negre 233
Stele alcătuite din quarci 234
Indice terminologic 237

Tehnoredactor : FLORIAN SĂPUNĂRESCU

Format 16/54×84. Coli tipar 15,50
Bun de tipar 30 noiembrie 1988. Apărut — ianuarie 1989

Comanda nr. 695/80 256
Combinatul poligrafic „Casa Scînteii", Piața Scînteii nr. 1, București, Republica Socialistă România

De la intuiție la adevăr • „Cum să te înțelegi cu celălalt" • „Știința este adevărul înmulțit cu îndoiala" • „Aș vrea să cred, dar n-am temeiuri" • Putem deosebi adevărul de minciună ? • „Îndoiala îmi oferă tot atîta desfătare cît cunoașterea" • Cum se edifică teoriile • Ce-a fost întîi, oul sau găina ? • Să nu violentăm natura, ci s-o întrebăm • „Neștiința nu-i o dovadă, ignoranța nu-i un argument" • Superstiții și legende • Secretele meseriei • Bunul simț • Cîte odată greșeala se vede dintr-o dată • Despre frumusețea științei • A cuprinde necuprinsul • De ce inima se află în stînga ? • Comoara uitată • Cum lucrează fizicienii • Cum a fost creată mecanica cuantică • Începutul erei cuantice • Undă sau particulă ? • Calcule fără calcule • Cum să intuiești soluția ? Vidul, nucleele, stelele • Se poate împinge un corp fără a-l atinge ? • Instabilitatea materiei nucleare la densitate mare • Mai strălucitor decît o sută de miliarde de sori • Găurile negre

Lei 15

ISBN 973—28—0000—3

EDITURA POLITICĂ